Tecnologia da Conservação e da Restauração

– Materiais e Estruturas –

Um roteiro de estudos

Mário Mendonça de Oliveira

Tecnologia da Conservação e da Restauração

– Materiais e Estruturas –

Um roteiro de estudos

4ª edição
revista e ampliada

EDUFBA-PPGAU
Salvador, Ba
2011

Coordenação editorial
Mário Mendonça de Oliveira
Colaboradoras na nova iconografia: Karina Matos, Laís Barreto e Tiana Carvalho

Imagem da Capa
Baseada em microfotografia SEM executada
pelo "Istituto Gino Bozza del Politecnico di Milano" de amostras
de eflorescências salinas do Museu de Arqueologia da UFBA.
Gentileza de Giovanna Alessandrini.

Capa e projeto gráfico
Gabriela Nascimento

Revisão
O autor

Sistema de Bibliotecas - UFBA

Oliveira, Mário Mendonça de.
Tecnologia da conservação e da restauração - materiais e estruturas : um roteiro de estudos / Mário Mendonça de Oliveira. - 4. ed. rev. e ampl. - Salvador : EDUFBA : PPGAU, 2011.
243 p. : il.

ISBN 978-85-232-0772-4

1. Arquitetura - Conservação e restauração. 2. Materiais de construção. I. Título.

CDD -720.288

EDUFBA
Rua Barão de Geremoabo, s/n
Campus de Ondina
40170-115 Salvador Bahia
Tel. (71) 3283 6160
www.edufba.ufba.br
edufba@ufba.br

SUMÁRIO

É, porém, razoável pensar que as criações do homem são feitas para o corpo, e este princípio chamamos **utilidade**, ou então são feitas para a alma e se atribui o nome **de beleza.** Mas, por outro lado, aquele que constrói ou cria considerando, como em todas as partes o fluir da natureza das coisas, que tendem perpetuamente a dissolver-se, corromper-se ou a inverter aquilo que ele faz, deve reconhecer um terceiro princípio e procurar trazê-lo para suas obras. Este exprime a **resistência** com a qual o homem deseja que suas obras se oponham ao destino que as faz perecer, e por isto busca a solidez ou a **durabilidade**.

Sócrates a Fedro em Eupalino

PRÓLOGO

> ***Técnica, permanente homenagem feita à natureza, alimento essencial da imaginação, fonte autêntica da inspiração, prece de todas a mais eficaz, língua "mater" de todo criador; técnica falada por poeta conduz à arquitetura.*** **Auguste Perret**[1]

O mote de mestre Perret poderia ser considerado, no momento, uma afirmativa *demodée* porque, pelo menos por enquanto, as poéticas de gosto racionalista não estão em moda. O princípio, porém, permanece inalterado, não obstante a mudança do gosto das formas, porque ninguém que esteja em gozo de suas faculdades poderá negar que a arquitetura só existe quando o *designium* é transformado na realidade concreta dos materiais e das estruturas, e estes obedientes, inexoravelmente, às leis físicas e químicas que regem a sua durabilidade e o seu equilíbrio estático. Partindo deste pressuposto, todos os problemas de criatividade na nobre arte só podem ser afrontados com competência científica e técnica, para que se possa encontrar nela um mínimo de coerência, que permita servir dignamente à sociedade. Como dizia mestre Cataneo, o que esperamos de um bom arquiteto é: *essere scientifico,* & *di naturale ingegno dotato, però che essendo ingegnoso senza scienza, overo scientifico senza ingegno, non potrà farsi perfetto Architettore*[2] .

Conservar a memória da produção arquitetônica humana torna-se, por sua vez uma atividade mais empenhativa do ponto de vista científico, porque estamos lidando com exemplares insubstituíveis, irrepetíveis, sobre quais os erros conceituais ou técnicos não nos deixam margem para desculpas. Ensinando no nosso PPG-AU e nos CECRE, desde que fundados, disciplinas de tecnologia da conservação e da restauração, vivenciando durante tanto tempo obras e canteiros de restauro de todas as escalas, podemos ter a veleidade de afirmar termos acesso ao juízo crítico da atividade do restauro entre nós, sentindo-nos na obrigação de insistir sobre esta questão, na qualidade de professor de restauração, destacando os pontos críticos do seu exercício, na teoria e na prática[3] . Já houve momentos em

que tivemos sérias desconfianças de que a nossa pregação deixava, em certas pessoas, a impressão de estarmos vindo de algum mundo estranho ou que em vez de restaurador fôssemos *alquimista*!

Quem, entretanto, tem um mínimo de intimidade com a História da Arquitetura sabe que os escritos de Da Vinci já apresentam observações e interpretações curiosíssimas sobre o diagnóstico do comportamento estático de edifícios, das causas das lesões dos muros e abóbadas, um testemunho de que já existia uma ciência da conservação (*lato sensu*). O erudito Leon Batista Alberti, como quase todos os outros tratadistas, dedica parte do seu trabalho à análise das construções, seus defeitos e a maneira de repará-los e, o que é mais fundamental, a tônica dominante das suas observações direciona-se para a importância da **durabilidade** das estruturas e dos materiais, quando submetidas ao intemperismo[4]. Isto representa uma ótica da maior atualidade, que tem orientado as investigações mais modernas sobre o argumento. Infelizmente, a formação que se dá nas escolas de arquitetura não facilita este trabalho de educação e conscientização, mazela que se carrega de longo tempo constatada pelo espírito vanguardista de Viollet-le-Duc, cuja afirmativa é de uma atualidade surpreendente: *Or, peu de siècles présentent autant que le nôtre, une série de progrès scientifiques d'une valeur incontestable....Nos architectes, comme leurs devanciers, vont-ils s'empresser de recourir à cette source de rénovation ? Non; ils préfèrent nier l'influence necessaire de la science sur l'art...*[5]. Além do mais, como todos sabemos, o que se restaura *é* ***somente a matéria***[6] e, como conseqüência, a organização desta matéria no espaço, ou seja, a estrutura. Seria, pois, uma temeridade alguém arvorar-se a restaurar um edifício sem dominar minimamente a ciência de tais argumentos.

Temos, entretanto, notado que a existência da nossa pós-graduação em conservação (PPGAU e CECRE) tem modificado a mentalidade dos nossos especialistas sobre o assunto. Podemos depreender este fenômeno das constantes solicitações que de todas as partes nos chegam para consultorias e ensaios. A nossa ajuda, porém, não é mais completa em vista da manifesta dificuldade que se tem de bibliografia especializada, que pudesse dar uma complementação aos temas sobre os quais trocamos idéias. Nestes contatos, não poucas vezes observamos, com certa satisfação, velhas e manuseadas cópias dos nossos roteiros de lições metidos entre as plantas e papéis em canteiros de restauro, além de solicitações constantes de *uma cópia do material novo que foi montado* após o curso que alguém fez. Isto nos deu a idéia de fazer uma produção modesta, mas impressa, que permitisse atingir mais amplamente a comunidade de especialistas de conser-

vação da arquitetura. Procuramos, desta maneira, facilitar a árdua tarefa do aprendizado científico destes profissionais fazendo uma simplificação de conteúdos de autores renomados, que são citados na bibliografia, combinada com observações do dia-a-dia no nosso laboratório e de canteiros de restauro brasileiros, cujas necessidades e disponibilidades não são muito coincidentes com a dos europeus. Esta é a terceira edição do texto revista e ampliada. Será fácil notar que ela apresenta algumas atualizações e muitas complementações, que se faziam necessárias, para serem ajuntadas aos textos das duas primeiras edições.

No futuro estes roteiros poderão ser a base de um manual de tecnologia da conservação/restauração que pretendemos produzir. Evidentemente, em vista de suas características esquemáticas, será melhor compreendido pelos que freqüentaram os nossos cursos ou são especialistas do ramo. Os pontos destacados no texto foram, todavia, ditados pela casuística que encontramos nos canteiros de restauro e nos temas que temos que afrontar na prática do nosso exercício profissional.

Não se trata de uma publicação sofisticada, mas um documento que pretende substituir, com vantagem, as centenas de fotocópias que andam circulando por aí. Dela participaram, com grande entusiasmo, o que foi realmente gratificante, bolsistas do NTPR (Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração) e estudantes que freqüentam o nosso laboratório, só pela satisfação de conhecer um pouco mais. A todos o nosso muito obrigado pela lealdade, amizade, espírito de colaboração e amor pela ciência demonstrados. Os nossos agradecimentos também a alguns colegas e amigos do DCTM (Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais), aos colegas do Instituto de Química, do Instituto de Geociências e do Instituto de Biologia, cuja troca de idéias sobre a conservação tem sido sempre muito enriquecedora para todos.

Mário Mendonça de Oliveira

NOTAS

[1] **ROGERS**, Ernesto N. *Auguste Perret*. Milano: Il Balcone, 1955. p.47.

[2] **CATANEO**, Pietro. *I quattro libri di architettura*. Venezia: Case de'figliuoli di Aldo, 1554. New Jersey: Gregg Press Inc., 1964. p.1f. Ed. Facsimilada.
Trad: *Ser um cientista dotado de natural criatividade, mas sendo criativo e sem ciência ou cientista sem imaginação, não poderá tornar-se perfeito arquiteto.*

[3] **BRANDI**, Cesare. *Teoria de la restauración*. Madrid: Alianza Forma, 1996. p.57. É sempre bom lembrar Brandi: *Com isto não degradamos a prática, mas, pelo contrário, elevamo-la à hierarquia da teoria, posto que está muito claro que a teoria não teria sentido se não tivesse que ser materializada na ação*.

[4] **ALBERTI**, Leon Battista. *L'Architettura [De Re Ædificatoria]*. Tradução do latim de Giovanni Orlandi. Milão: Il Polifilo, v.2, 1966.

[5] **VIOLLET-LE-DUC**, E. M. *Entretiens sur l'architecture*. Paris: Vve A. Morel & Cie., 1872. Paris: Pierre Mardaga, v.2, 1977, p.445. Ed. Facsimilada.

[6] **BRANDI**, Cesare. *Teoria del restauro*. Torino: Einaudi, 1977. p.7.

PARTE 1

MATERIAIS

I. TERRA: ADOBES, TAIPAS E CERÂMICAS

***Itaque primum de lateribus, qua de terra duci eos oporteat, dicam. Non enim de harenoso neque calculoso luto neque sabulonoso luto sunt ducendi, quod, ex his generibus cum sint ducti, primum fiunt graves, deinde, cum ab inbribus in parietibus sparguntur, dilabuntur et dissolvuntur paleaeque in his non cohaerescunt propter asperitatem.* VITRUVIUS[1] .**

1 - USO DE ADOBES E TAIPAS - REVISÃO HISTÓRICA

Civilização Mesopotâmica ➔ Nascimento dos adobes regulares e irregulares
Patrimônio construído em terra: Oriente próximo, Egito Antigo, Peru, Brasil, etc. (Fig. 1 e 2)
Terra construída e terra escavada.
Tradição e atualidade do uso da terra ➔ Arquitetura no Brasil – Caso da Bahia, Minas, Goiás, Belém e outros locais.
Versatilidade das estruturas – abóbadas, beirais etc. (Fig. 2)

Fig. 1 – Ruínas de Chán-Chán, Perú, Patrimônio da Humanidade

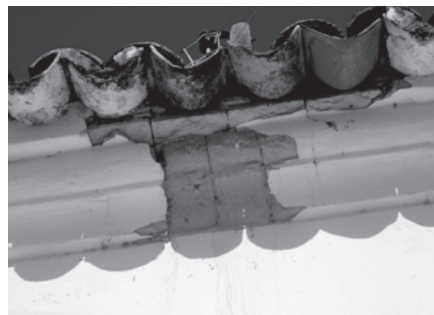



Fig. 2 – Beiral de adobes com formas especiais. Rio de Contas, Bahia

2 - ESTUDOS CIENTÍFICOS SOBRE O ADOBE

Recentes ➔ Necessário normas de ensaio para estudos das propriedades físico-químicas e normas para eficácia de tratamento.
Estudos de conservação em si.
Os conclaves internacionais sobre construção de terra.
Diversas dissertações de mestrado desenvolvidas no NTPR/PPGAU.

2.1 - Caracterização química dos solos

Muito difícil pela variedade de materiais;
Mineralogia das argilas, um tema complexo.

2.2 - Conhecimento do solo ➔ O melhor possível

2.2.1 - Análise granulométrica

Componentes básicos: gravilhão, areia, silte e argila (Fig. 3).

Gravilhão	Areia	Silte	Argila	Colóides*
20 - 2mm	2 – 0,06mm	0,06mm – 2μ (5μ)	≤2μ (5μ)	0,1-0,001μ

* Inferiores às dispersões coloidais são as dispersões moleculares.

Bom adobe:

- 60-80% areia
- 20-40% silte + argila
- Pouco ou nada de gravilhão

Distribuição Granulométrica

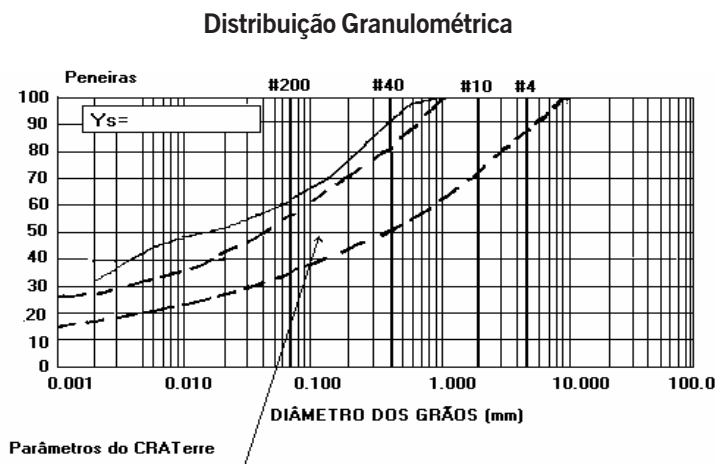



Fig. 3 – Gráfico da distribuição granulométrica

2.2.2 - Estrutura cristalina das argilas. [Fig. 4 (a) e (b)].

Argilas ➔Importantes aglutinantes.

Base: silicatos hidratados de Na, K, Ca e outros minerais. O Fe e o Mg podem estar no lugar do Al e do Si.

Famílias: caulinita, ilita, montmorilonita, clorita etc.

Plasticidade ➔Deslizamento das capas com água intersticial

Ex.: caulim não se expande porque não penetra muita água entre as capas.

Montmorilonita ➔ Distância interfoliar aumenta de 9.6 para até 21.4 Å.

Argilomineral de CTC (Capacidade de Troca Catiônica) elevado e de muita instabilidade em relação à água.

Tem, entretanto, usos interessantes, inclusive na restauração.

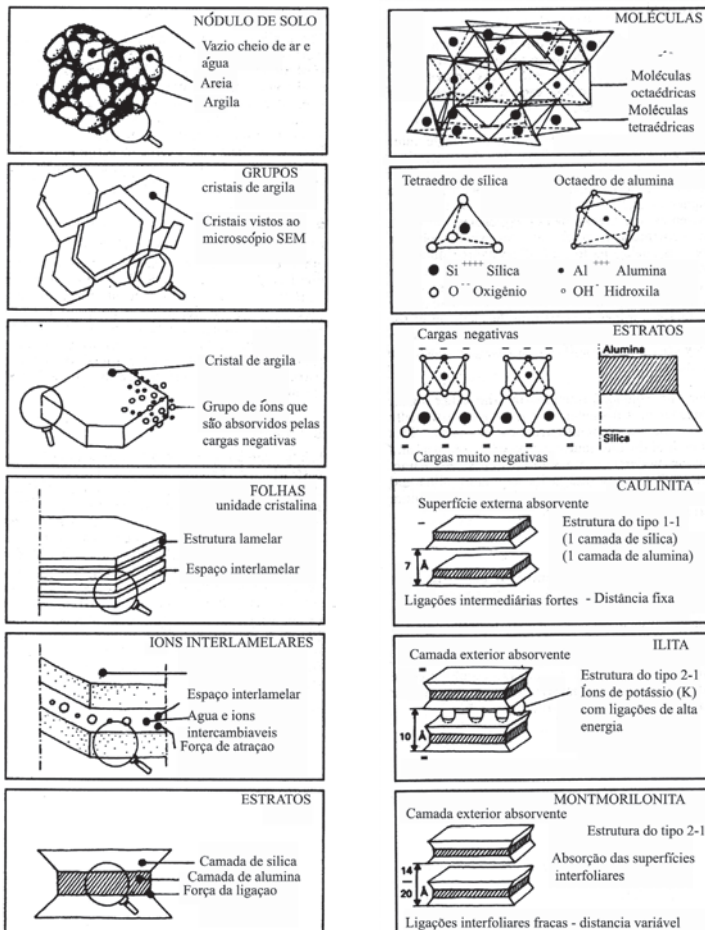



Fig. 4 – Cristais dos argilominerais

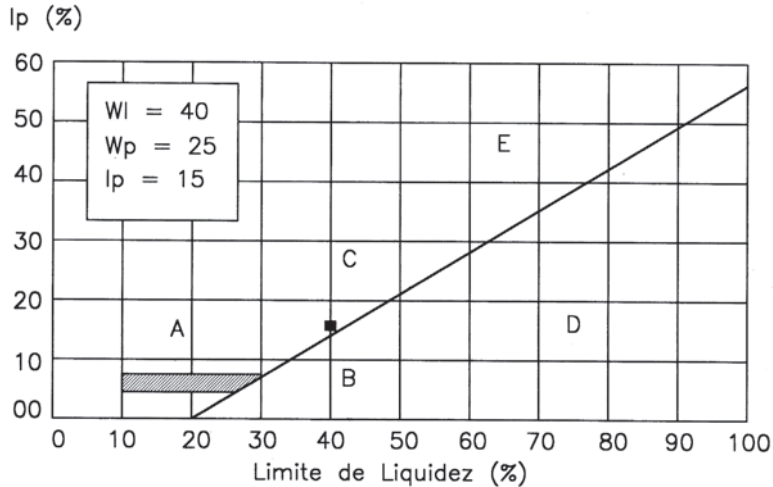



Fig. 5 – Carta de plasticidade

A = Argilas arenosas, siltes inorgânicos de baixa plasticidade, areias siltosas muito finas e areias argilosas
B = Siltes orgânicos e inorgânicos
C = Argilas inorgânicas de plasticidade mediana
D = Argilas orgânicas e siltes inorgânicos
E = Argilas de alta plasticidade

Obs.: os solos adequados para adobes e taipa de pilão apresentam WL (ou LL) entre 30 e 50 (ver Fig. 5).

2.3 - Granulometria dos adobes

Adobes históricos ➔ Quantidade mínima de 150 a 300g para ensaio.

Processo de análise semelhante ao do solo:

a) Teor de umidade ➔ $U = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$

Secagem a 105°C para material a ser estudado do ponto de vista somente de geotecnia. Para outras observações secar a 65°C.

b) Peneiramento ➔ Gravilhão e areia (Fig. 6a);

c) Sedimentação ➔ Silte e argila - Lei de Stokes (Fig. 6b);

(a) Peneiramento **(b) Sedimentação**

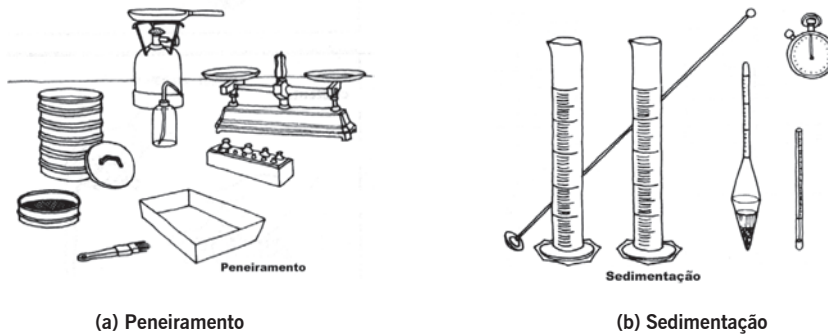



Fig. 6 – Equipamentos para ensaios de granulometria dos solos

Defloculação ➔ Hexametafosfato de sódio.

Metodologia específica de ensaio:

- Peneira menor, nº 400 (*38 microns*);
- Toda perda de material computada como argila.

Separação argila-silte ➔ Sedimentação com tempos prolongados.

Ex.: partículas de argila de 2 microns depositam-se em uma coluna de 10cm em 8:20h a l8ºC.

Pipeta de Andreasen para o ensaio de sedimentação; turbidimetria etc.

2.4 - Análise de sais solúveis

- Causadores de tensões de cristalização, eflorescências, higroscopicidade ➔ DEGRADAÇÃO.
- Dispersar em H_2O destilada uma amostra de massa conhecida ➔ Filtragem com papel de trama adequada. Pode-se fazer análise qualitativa tradicional ou semiquantitativa com uso de *kits* especiais de dosagem de sulfatos, cloretos e nitratos.

2.5 - Difração de raios-X (XRD)

Identificação importante ➔ Montmorilonitas

Com que vem combinado o Ca^{++}:

- Cl^- (higroscópico);
- $SO_4^=$ (não higroscópico);

Semelhança de material ➔ Local de extração.

2.6 - Determinação de pH

Recíproca do logaritmo da concentração dos íons de H^+

Água destilada (neutra), concentração de H^+ ➔ $1/10^7$, ou seja, pH=7.

- Acidez ➔ Floculação de materiais argilosos;
- Basicidade ➔ Suspensão estável.

Sugestão dos especialistas para reparos: pH ± 2 do original.

2.7 - Avaliação da cor

Uso das tabelas de Munsell e colorímetro;

Variações posteriores da cor ➔ Comparação.

2.8 - Microscopia eletrônica e ótica

Princípios gerais de cada uma delas.

2.8.1 - Microscopia ótica

Lâminas delgadas e secções polidas: difícil execução ➔ Consolidação

Bons aumentos até 100 x;

a) Maiores ➔ Pouca profundidade de campo;

b) Menores aumentos ➔ Observam-se: vazios, granulometria, aditivos, sais, macroporosidades etc.

2.8.2 - Microscopia SEM.

3 - DEGRADAÇÃO DOS ADOBES E TAIPAS: FATORES

A especificidade da degradação das taipas de sopapo ➔ Ataque da trama de madeira pelos xilófagos (Fig. 7).

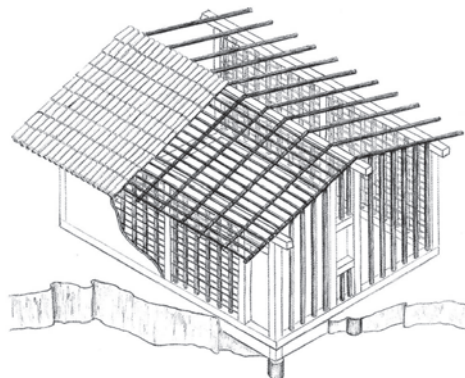



Fig. 7 – Trama de madeira clássica da taipa de sopapo

3.1 - Água

Fator mais importante na degradação Fig. 8 ➔ Resistência ligada diretamente a ela:

- Argila ➔ Expande, torna-se plástica, sofre erosão etc.;
- Capilaridade ➔ Sais solúveis: eflorescência e subeflorescência;
- Umidade natural e umidade ascendente.

3.2 - Vibrações

Afetam muito as estruturas de adobe que não têm muita coesão ➔ Tráfego e terremotos.

Reforço das peças ➔ Fibras (vegetais, animais e sintéticas).

3.3 - Dilatação térmica

Material estabilizado tem pouco problema.

Levar em conta ao aplicar o consolidante, fazer a reintegração e o revestimento.

3.4 - Ação eólica

Abrasão por areias transportadas bem como pelo aerossol salino.

3.5 - Biodegradação

Plantas (vegetais superiores) ➔ Raízes;

Animais de maneira geral, inclusive insetos.

3.6 - Vandalismo

Destruição - mau uso - falta de manutenção.

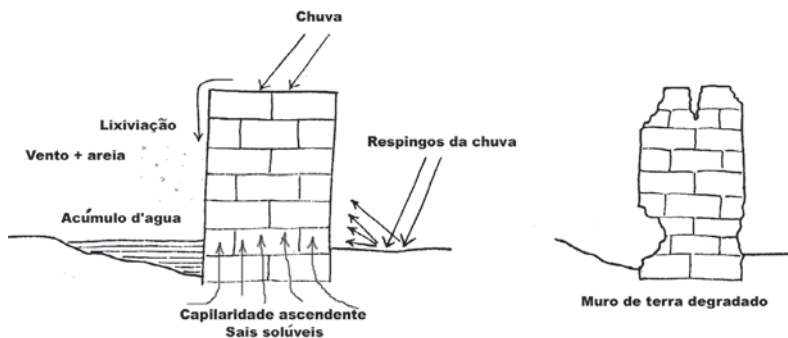



Fig. 8 – Ação da água em muro de adobe

4 - CONSERVAÇÃO E TRATAMENTO

Soluções mais duráveis ➔ Em estudo.
Tentamos aumentar a vida ➔ Nada é eterno.

4.1 - Conservação arqueológica

Cobertura; reaterro ➔ A consolidação de ruínas a céu aberto, um problema.

4.2 - Proteção contra intempéries

Fácil ➔ Proteção contra a chuva (parcial).

4.3 - Adobes reforçados com estabilização

Adobes de solo-cimento e solo-cal: reintegração/capeamento.
Antiguidade do procedimento ➔ Ver texto do congresso de terra em Monsarraz (OLIVEIRA).
A "taipa militar" ➔ As recomendações de Velloso (1:3). Ver texto: *A construção com terra em Portugal.*
Cuidados: evitar muito contraste de resistência até 10% de cimento, mas é preferível cal e cimento pozolânico.

4.4 - Proteção superficial

Estratos regulares ➔ Adobes reforçados.
Terminação irregular ➔ Capeamento com solo estabilizado ➔ Cuidado.

4.5 - Drenagem

Fundamental, especialmente em escavações arqueológicas – O caso da Estação das Docas (Forte S. Pedro de Nolasco), em Belém.

4.6 - Tratamentos de superfície

4.6.1 - Silicones ➔ Vantagens e desvantagens.

4.6.2 - Resinas ➔ Acrílicas, de poliéster, epoxídicas, vinílicas.
Efeitos colaterais:
Diferença de brilho - películas - coeficiente de dilatação diferenciado - respiração do muro antigo - duração - diferença de resistência, etc.

4.6.3 - Silicato de etila ➔ Ex.: Consolidante OH (Wacker)
- *Vantagens:*

Formas de sílica coerentes à terra;

Boa absorção melhora resistência mecânica.
● *Desvantagens:*
Não é “colante” dos fragmentos;
Alto custo
● Obs.: usar o PVA como colante no caso de desprendimento de revestimento a ser conservado.

4.7 - Conclusões

● Cuidados com as operações;
● Pesquisar e estudar o tema;
● Manutenção constante dos monumentos de terra.

5 - FABRICAÇÃO DE NOVOS ADOBES

Fases: seleção do solo, preparação e moldagem, secagem.

5.1 - Solo

5.1.1 - Conceito e natureza dos solos.
Rochas, britas, gravilhões, areias, siltes e argilas.

5.1.2 - Solo mais recomendável ➔ Variável

MATERIAL	CRATerre (França)	Proyecto PER 71 (Peru)
areia	55-75%	60-68%
silte	10-28%	10-28%
argila	15-18%	15-18%
mat. orgânico	< 0.3%	
sais	< 0.2%	< 3%

MATERIAL	NBS (USA standards)
gravilhão	pouco ou nenhum
areia	60-80%
silte + argila	20-24%
mat. orgânico	sem indicações
sais	sem indicações

5.1.3 - Recomendações gerais

a) Sem matéria orgânica ou resíduos estranhos aos componentes;

b) Baixo conteúdo de sais solúveis;

c) Pouco ou nenhum gravilhão.

5.1.4 - Ensaios de laboratório para identificação/caracterização:

Umidade natural;
Limites de Atterberg (WL ou LL; WP ou LP);
Limites de viscosidade;
Contração linear;
Características de amassamento;
Capacidade de expansão;
Massa específica;
Massa unitária;
Granulometria;
Índice de pH;
Conteúdo de sais solúveis (sulfatos, nitratos e cloretos);
Conteúdo de material orgânico;
Provas de compactação ➔ Ensaio de Proctor;
Fluidez (movimento lento);
Cor;
XRD;
ATD;
Microscopia;
Tensão admissível de compressão;
Tensão admissível de flexão;

5.1.5 - Provas simplificadas

Variações em relação aos diversos tipos de argila ➔ Confrontar com laboratório.

5.1.6 - Escolha das jazidas

Terra superficial **não** ➔ Presença de material orgânico;
Terra pouco alcalina;
Terra com pouco sal solúvel.

- Encontra-se melhor no subsolo.
  Solos dos altos ➔ + argila;
  Solos das faldas ➔ + areia;
  Solo das encostas ➔ Equilíbrio.

- Qualidades básicas:
  Pouca alcalinidade;
  Proporção boa ➔ argila/silte/areia;
  Poucos sais solúveis < 0.2% peso;
  Não ser terra vegetal.

5.2 - Extração

Máquinas ou ferramentas manuais.

5.2.1 - Misturar para melhorar qualidade.

Extração 30% mais que o requerido para as peças.

5.3 - Remoção de resíduos

Gravilhão - pedras - raízes - folhas etc. ➔ Quebram a organização das partículas sólidas e deixam vazios.

5.3.1 - Peneiramento

Dimensão de peneira: 0.75m x 1.50m;
Trama: 6 a 12mm.

5.4 - Preparação da mistura ➔ Pasta

5.4.1 - Quantidade de água:

a) Limite de Liquidez (WL ou LL);
b) Limite de Plasticidade (WP ou LP).

Índice de plasticidade ➔ Diferença entre WL e WP
Fatores de retração: tipo de argila, quantidade de água, de areia e de argila.

NBS ➔ Água inferior ao WL.
Manuais recomendam entre 15 e 30%;
Prova empírica ➔ A pasta não deve aderir à ferramenta

5.4.2 - Mistura

Amassamento ➔ Homogêneo e plástico.

Repouso para penetração da água ➔ ± 12 horas.

Aditivos estabilizadores (discutíveis): cortiça, palha, cânhamo, esterco, cinza, óleo de coco, ácido tânico, uréia, melaço, folha de bananeira, sangue etc.

5.5 - Moldagem

5.5.1 - Moldes

Com fundo:
- Menos rendimento
- Menos fadiga
- Mais compactação

Sem fundo:
- Mais rendimento
- Mais fadiga
- Menos compactação

Material do molde ➔ Madeira, plástico, metal;

Certos casos ➔ Revestimento;

Lubrificação da forma ➔ Água, óleo etc.

5.5.2 - Modelagem

Cuidados com compactação e nivelamento.

5.6 - Cura e armazenamento

Necessários para a boa qualidade do material

5.7 - Construção em “Torrão” ou “Gazon”

Um falso adobe

O uso na engenharia militar desde os tempos da Antiga Roma ➔ O *sespedes* de Vegécio.

O caso do Sítio de Tatuapé (Anália Franco), antiga casa bandeirista, em São Paulo.

5.8 - Execução da taipa de pilão

Características similares do solo com o do adobe.

O sistema tradicional de execução da taipa de pilão ainda válido (Fig. 9).

Comentário de alguns exemplos: Casa nº 14 do Largo de S. Francisco, em Salvador, monumentos mineiros e goianos.
O velho muro da fortaleza do Castelo do Santo Cristo e o Hospital Militar do Cap. José Antônio Landi, ambos em Belém.

5.8.1 - Taipa dita "de formigão" – Confusão conceitual. Solo estabilizado?

5.8.2 - Taipa militar com solo estabilizado (solo-cal). Descrição dos tratados de engenharia militar, especialmente Velloso.

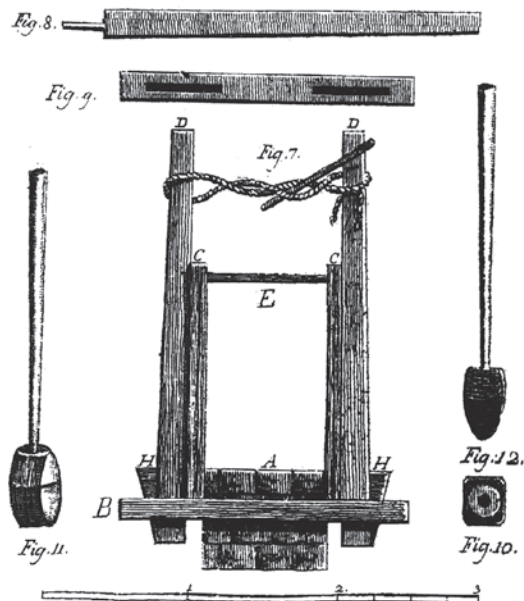



Fig. 9 – Ilustração do manual de taipa de pilão de Giuseppe del Rosso escrito no Séc. XVIII

6 - MATERIAIS CERÂMICOS

O sentido amplo do termo material cerâmico ➔ Terracota.
Fração argilosa entre 15 a 45%, em peso do material total.

Tabela de classificação teórica das argilas (Adaptada de Montagni)

Classe e estrutura	Estratos	Grupo	Espécie	Fórmula	Distância interfolear
FILITOSAS	2 estratos	Caulinítico	Caulinita	$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$	7,16 Å
			Diquita	$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$	
			Nacrita		
			Argilas refratárias	$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$	CIT 7,18Å
			Anauxita	$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$	
			Alofano	$x\ Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O\ x>1$	
		Haloisítico	Haloisita	$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O+2H_2O$	10Å
			Metaolisita	$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$	7,3-7,5Å
	3 estratos	Montmorilonítico	Montmorilonita	$Al_2O_3.4SiO_2.H_2O+zH_2O$ (MgO)	15,5Å
			Nontronita	$Al_2O_3.4SiO_2.H_2O+zH_2O$ (FeO)	
			Beidelita	$Al_2O_3.3SiO_2.H_2O+zH_2O$ (MgO)	
		Ilítico ou Bravaisítico	Ilita	$Al_2O_3.3SiO_2.H_2O$	10-10,3Å
			Minerais de alteração	(Fe, Mg, Ca, K e Na)	12,7-13,7Å
		Vermiculita (3e2)	Vermiculita	$(Al,Fe,etc)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$	
FIBROSAS	Em fibras	Sepiolítico ou Paligorsquítico	Sepiolita	$(MgH_2)_9\ (Si_4O_{11})_3.3H_2O+2H_2O$	
			Paligorsqita (atapulgita)	$(MgAl_{32})_9\ (Si_4O_{11})_3.3H_2O+2H_2O$	

As propriedades de mudanças das argilas com aumento de temperatura (ATD).
Objeto ➔ Cerâmica aplicada à arquitetura.
Uso e importância na história da arquitetura ➔ A obra prima da Porta de Istar.
Para o mundo português a azulejaria.
Quantidade aliada à qualidade a partir dos fornos Hoffmann, quando foi aumentada a economia de energia.

6.1 - Necessidade de estudo detalhado da matéria prima.

Conhecimento dos argilominerais componentes que influem no comportamento do produto, como se fez para os adobes e taipas.
Caracterização geotécnica e granulométrica.

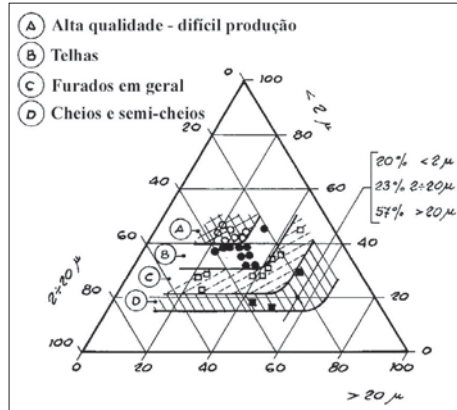



Fig. 10 – Diagrama de Winkler

Difratometria de Raios-X (DRX)

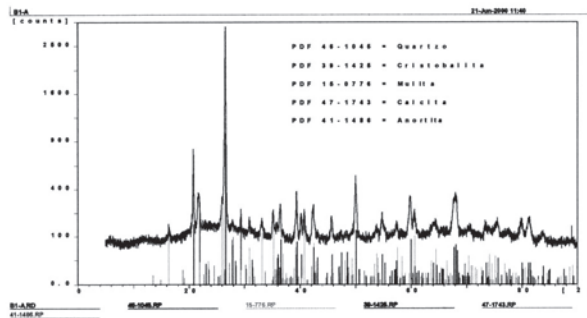



Fig. 11 – Difratometria de raios-x

Análise termodiferencial (ATD)

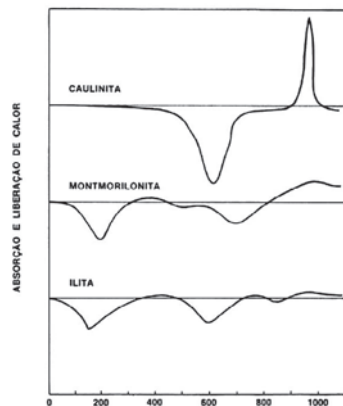



Fig. 12 – Gráfico de análise termo-diferencial

6.2 - Alguns conceitos gerais

- Água nas argilas:
  Conceito de água "zeolítica" ➔ Perde-se a partir de 180°C.
  "Água de cristalização ➔ Perde-se entre 450 e 600°C.
- Fundentes: Abaixam a temperatura de queima do material. Em geral óxidos alcalinos (de Na e K) e compostos de silício e chumbo.
- Emagrecedores: areia silícea entre 50 e 500µ, "chamota" (pó cerâmico fino), pó de serra, cinzas volantes, etc.
- Vitrificadores: Derivados da estrutura básica do vidro (SiO_4) associada a outros elementos como Al, Ca, que funcionam como estabilizadores das cargas eletrostáticas e também outros elementos colorantes associados.

Outros:
- Porcelana ➔ Caulim puro + quartzos e feldspato. Alta temperatura.
- *Grés* ➔ Mistura de argila caulinítica e/ou ilítica queimada em alta temperatura.
- Terracota ➔ Rica em óxidos de ferro e $CaCO_3$.
- *Terralha* ➔ Rica em $CaCO_3$.

6.3 - Materiais usuais na antiguidade:

6.3.1 – Tijolos

Vestígios mais antigos 3.000 a.C. na Mesopotâmia.
Formas e dimensões comuns ➔ No Egito, tijolos semelhantes aos atuais: 210 x 100 x 65cm.

Tijolos de formas especiais ➔ Romanos foram os mestres.

Aplicações principais:
- Construção de muros
  Material aparente: Dificuldades de conservação e de restauração ➔ critérios de restauro dos tijolos aparentes – Influência inglesa no Brasil.
- Construção de abóbadas
- Revestimento de pavimentos – Problemas de conservação e restauro.
  Ladrilhado de barro cozido.
  Tijoleira ➔ Obtenção de texturas diferenciadas
  O emprego do "tijolo a cutelo" ou "ao alto".

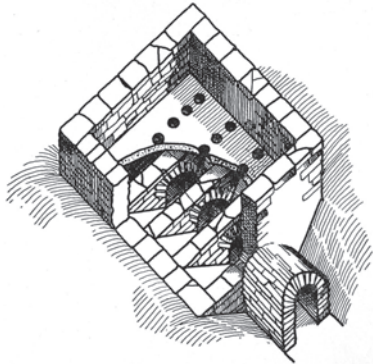



Fig. 13 – Antigo forno romano em St. Albans, Inglaterra cuja lógica construtiva permanece até hoje

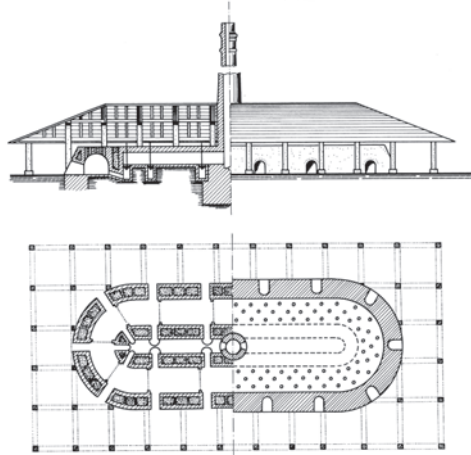



Fig. 14 – Forno Hoffmann clássico, que revolucionou a queima cerâmica

6.3.2 - As telhas

Em Roma telhas de boa qualidade 600 anos antes de Augusto.

Grande variedade de formas.

Sistema manual, até o Século XIX ➔ Método de fabricação artesanal com o emprego de placas de moldar e "cágados".

Qualidades básicas: Resistência mecânica e impermeabilidade ➔ Observar bem, pois destas qualidades depende a conservação do edifício.

Possíveis tratamentos do material antigo e novo ➔ Consolidantes e hidrorrepelentes.

Elementos de fixação ➔ de fabricação e aplicados.

As telhas decorativas de beiral.

6.3.3 - Manilhas, dutos e vasos aplicados à construção de cúpulas.

Conhecidas desde a Antiguidade

Uso eventual da vitrificação.

Formas usuais ➔ Sistema de "ponta" e "bolsa".

Problemas que podem acarretar ao edifício.

6.3.4 - Azulejos e maiólicas

Uma das maiores expressões das artes decorativas portuguesas e de extrema importância na Arte Colônia Brasileira.

Problemas principais de conservação
- ➚ Tensão de cristalização de sais.
- ➔ Restos de OCa e argila crua.
- ➘ Ataque de microorganismos: cianobactérias (algas) e outros.

Conservação e restauro das superfícies azulejadas problemas conceituais e operativos ➔ a polêmica da remoção com sacrifício de ***parte da consistência material*** (Brandi).
Exemplos concretos: Reitoria da UFBA, Conceição da Praia, Ordem Terceira de S. Francisco.

6.3.5 – Esculturas e elementos decorativos
Pinhas
Arremates de telhado
Medalhões
Esculturas decorativas ➔ O caso da catedral de Sucre.
Processos de reintegração, substituição, reforço e restauro.

6.4 - Limpeza

- Terra ➔ Água destilada e sabão neutro;
- Crosta calcária ➔ Solução de EDTA a 5%.
  Bicarbonato de amônia 100g/1.000cc.
  Ácido cítrico ou acético (2 a 3%)
  AB-57;
- Incrustações silíceas (em geral, de escavações) ➔ Limpeza mecânica;
- Manchas de óxido de manganês ➔ Solução de sulfato de hidrazina;
- Biofilme ➔ Amoníaco concentrado ou um sal de amônio quaternário (Desogen) ou Preventol a 2%;
- Manchas de tintas ou alcatrão ➔ Solventes: acetona, água rás, butilamina etc. ou micro jateamento;
- Sais solúveis ➔ emplastros de argila ou polpa de papel. A bentonita é uma argila muito eficiente na extração.

6.5 - Consolidação e colagem

Praticamente o mesmo repertório dos produtos usados para a pedra.

II. ARGAMASSAS

[...] & le dette (pietre) albazzane spente ch'elle sono, si convengono subito lavorarle: perche stando spente, rimpetrificano & si guastano. & di queste calcine non doveano havere gli antichi: perche, havendone avute, non era à proposito quella legge, che non si potessero operare calcine, che non fussero state spente almeno tre anni. **CATANEO** [2].

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 - Conceito

Ligante + água, ligante + inerte + água ➔ Limitações conceituais.
Argamassas especiais sem água.

1.2 - Emprego

Ligar elementos construtivos isolados (adobes, tijolos, pedras etc.) para formar maciços murais.
Revestimentos e aderência de revestimentos (cerâmicas, azulejos etc).

2 - LIGANTES MAIS COMUNS

2.1 - Gesso - $CaSO_4.2H_2O$; anidrita ➔ $CaSO_4$

Matéria-prima encontrada na natureza:

Alabastro sacaróide;
Selenita;
Espato acetinado (forma fibrosa);

- Uso muito antigo
- Preparação de pinturas e esculturas

2.1.1 - Preparação

Temp.	Transformação	Massa unit.	Pega	Características do gesso
	$CaSO_4.2H_2O$	2,310		
120-180º	↓↑			
	$CaSO_4.1/2H_2O\alpha$	2,757	1 a 2 min.	Semi-hidratado obtido em atmosfera úmida ⇒ cristais grandes, compacto.
	$CaSO_4.1/2H_2O\beta$	2,637	2 a 4 min.	Semi-hidratado obtido em atmosfera seca ⇒ pouca resistência mecânica, pede muita água para se hidratar.
180-250º	↓↑			
	$CaSO_4$ III (α)	2,484	20 min.	Anidrita solúvel instável à temperatura normal.
250-600º	↓			
	$CaSO_4$ II (β)	2,930 a 2,970	Sem pega "morto"	Anidrita insolúvel igual à anidrita natural.
600-900º	↓			
	$CaSO_4$ II (β) + $CaO+SO_2+O_2$		Dias	Anidrita insolúvel mas de elevada dureza pela presença do CaO.
	↓			
1350º	Fusão			

2.1.2 - Qualidades

Originados de moagem fina ➔ Melhor.

Temperatura:

- 120-180°C ➔ Reboco, moldagem;
- 600°C ➔ Gesso "morto", usado como "carga" para gesso de pega;
- 1000-1200°C ➔ Muito duro, "gesso pedra";

Solubilidade, mesmo baixa, é problema em climas úmidos.

Século XIX: patentes de melhorias e variantes do Gesso de Paris.

- Cimento de Martin (1834);
- Cimento de Keen (1838);
- Cimento "Parian".

Resistência mecânica ➔ Função do grau de cozimento, da moagem mais fina e da relação água/gesso ➔ Varia entre 5 e 10 MPa;

Expansibilidade na cura ➔ De 0,3 a 1,5% - Por isto usado pelos antigos como argamassa para fazer escoramento provisório com alvenaria (Alberti).

2.2 - Cal Aérea

2.2.1 - Origem

Calcinação de rochas carbonáticas;

$CaCO_3$ e/ou $MgCO_3$ ➔ Puro ou até 95% ➔ 5% argilas, sais etc.;
Calcinação de conchas, corais, muito empregada no Período Colonial, especialmente em Salvador (ver Gabriel Soares), mármores...

- "Cal magra": rochas menos puras ou com alto teor de dolomita.

2.2.2 - Fabricação:

Fornos (caeiras) ➔ Entre 700 e 900°C (Fig. 1).
Boa calcinação ➔ 880°C no interior do material; aproximadamente 1000°C fora.

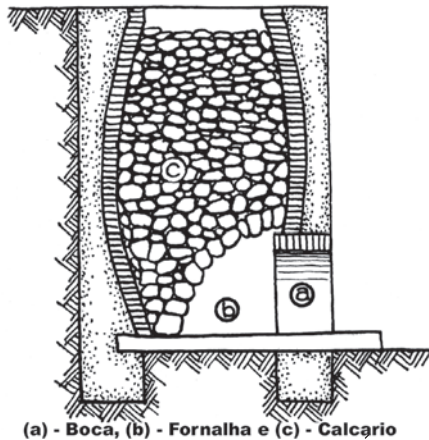



Fig. 1 – Forno tradicional de cal

$CaCO_3$ → $CaO + CO_2$ → **Cal viva** (*quicklime* ou *unslaked lime)*;

Extinção ➔ $CaO + H_2O$ → $Ca(OH)_2$;

Extinta naturalmente com a reação menos violenta ➔ Água quente ou pedras pequenas;
Repouso > 2 semanas. Bom > 2 meses;
Pasta de cal (*putty lime)*;

2.2.3 - Cal em pasta (*putty lime)*; "grassello".

2.2.4 - Pega ➔ Misturada à água e contato com ar.
A técnica da carbonatação acelerada para ensaios de laboratório.

2.3 - Cal hidráulica

Materiais hidráulicos na antiguidade;
Informações vitruvianas.

2.3.1 - Origem: calcinação do calcário marnoso
Marna ou marga: calcário com 15-20% de argila.
Referência encontrada em Cateneo das pedras "albazzane".

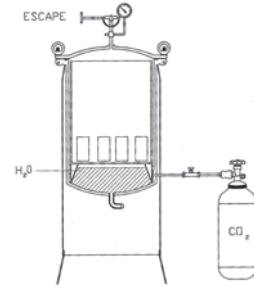



Fig. 2 – Câmara de Carbonatação - NTPR

Tabela de hidraulicidade das cales, segundo Petrucci

Classificação	Teor de argila (%)	Índice de hidraulicidade	Tempo de pega
Fracamente hidráulicas	5 a 8	0,10 a 0,16	2 a 4 semanas
Medianamente hidráulicas	8 a 15	0,16 a 0,30	1 a 2 semanas
Francamente hidráulicas	15 a 19	0,30 a 0,40	2 a 6 dias
Eminentemente hidráulicas	19 a 22	0,40 a 0,50	≤ 1 dia

2.3.2 - Fabricação da cal hidráulica artificial
$CaCO_3$ + argila;
$Ca(OH)_2$ + pozolana;
Cozimento mais longo, temperatura mais alta (900-950°C) ➔ Reações mais complexas;
Extinção com água, repouso de 20 dias e pulverização.

2.3.3 - Pega ➔ Mesmo em contato com a água.
Sílica e alumina da argila endurecem com a água.

2.3.4 - Índice de hidraulicidade

$$i = \frac{\%SiO_2 + \%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3}{\%CaO\ (+\ \%MgO)}$$

2.3.5 - Aditivação com pó de cerâmica
Recomendações de Vitrúvio ➔ O *cocciopesto* dos italianos.
Uso durante a Antiguidade e receitas.
Melhoria das propriedades: Pega mais rápida e aumento de resistência ➔ Os estudos do NTPR.
Obras das fortalezas ➔ Exemplos em Salvador: Barbalho, Lagartixa etc.

2.4 - Cimento

2.4.1 - Fabricação:

Calcinação de rochas calcárias sedimentares + argila.

Altas temperaturas: 1300-1500°C ➔ Forma-se o *clinker.*

Repouso;

Pulverização finíssima;

Tipos vários ➔ Aditivos ao *clinker*;

Cimento Portland ➔ *Clinker* + gesso;

Cimento pozolânico ➔ *Clinker* + pozolana (alta resistência marinha).

2.4.2 - Pega ➔ Mesmo em contato com água, como a cal hidráulica.

2.5 - Outros aglomerantes menos convencionais

2.5.1 - Materiais betuminosos

Uso na remota antiguidade.

Impermeabilização e ligante.

2.5.2 - Resinas poliméricas

Experiências levadas a efeito no NTPR com resinas acrílicas (paralóide e primal), PVA, epóxi, poliéster etc.

Uso na estucagem para reintegração de rochas ornamentais.

3 - AGREGADOS (INERTES)

3.1 - Areia

3.2 - Gravilhão

3.3 - Brita (diversas gradações)

Origens, as mais variadas: quartzo, sílica, calcário etc.

4 - POZOLANAS - CASO ESPECIAL

4.1 - Características

Vitrúvio e outros autores antigos.

Nem é **inerte**, nem é **ligante**;

Combinada à cal reage, conferindo-lhe propriedades hidráulicas.

4.2 - Origens

Natural (tufos vulcânicos e areias) e artificial.

5 - TIPOS DE ARGAMASSAS (SEGUNDO O LIGANTE)

5.1 - Argamassas de cal aéreas

5.1.1 - Dosagem: mais comum ➔ 1:2 e 1:3.

Água não tem efeito químico em si ➔ Catálise.

Quantidade ➔ Sem regras fixas. Depende da facilidade de uma mistura homogênea. Aproximadamente 14%.

5.1.2 - Retração

Maior na pasta pura;

Reduz com adição de inerte.

5.1.3 - Endurecimento ➔ CARBONATAÇÃO

5.2 - Argamassas hidráulicas

5.3 - Argamassas cimentíceas

5.4 - Argamassas "bastardas" ➔ Divergências conceituais e semânticas.

5.5 - Argamassas especiais

5.5.1 Argamassas de saneamento ➔ Experiências comparativas feitas no NTPR utilizando-se de: Argamassa de cal e areia; cimento e areia; cal, areia e solo; cal, areia e solo aditivada com melaço; argamassas de saneamento fabricadas na Alemanha *(sanierputz)*: Bayosan, Aesit, Keim etc; argamassa experimental produzida pela Vedacit OBE-500. Exemplos de aplicação no Brasil e eficiência.

5.5.2 - Argamassas poliméricas.

5.6 - Argamassas de barro

O emprego do **saibro** ➔ O que vem a ser saibro. Definição do Padre Vasconcellos (1733). Restrições de uso pelos teóricos antigos, especialmente os seguidores de Vitrúvio. A tradição portuguesa do uso do solo na argamassa.

6 - TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO DE ARGAMASSAS

6.1 - Argamassas de assentamento degradadas

Injeções de consolidação:

- Caso de argamassas de barro ➔ Uso de argilas bentoníticas.
- Caso de antigas argamassas de cal ➔ Técnicas do uso de injeções de cimento fluidificado e cal.
- Utilização de resina em casos limitados.

6.2 - Falhas exteriores da argamassa de assentamento

Técnicas de escarificação e rejuntamento.

A técnica do “embrechamento” ➔ Muito popular na restauração brasileira e muito usada pelo antigos em muralhas expostas a forte intemperismo.

Vantagem em relação à aderência e capilaridade.

6.3 - Reintegração de antigos rebocos

Critérios teórico-críticos da reintegração;

Relação de resistência em relação ao substrato;

Necessidade de análise para se conhecer:

a) Presença de sais solúveis especialmente através da pesquisa dos íons Cl^-, $SO_4^{=}$, NO_3^-, que podem dar pista da origem da sua migração, indicando a presença de NaCl, Na_2SO_4 e KNO_3;

b) Composição do antigo reboco para procurar similaridade:

- Composição e proporção de aglomerantes e agregados ➔ Técnicas em geral baseadas no ataque com HCl diluído;
- Curva granulométrica dos agregados.

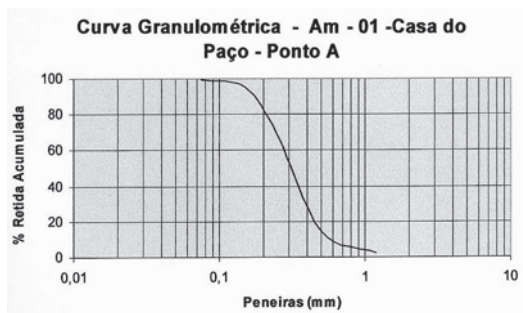



Fig. 3 – Gráfico de granulometria do agregado

Fig. 4 – Peneiras especiais para ensaios de granulometria

c) Identificação visual e microscópica de componentes; Micrografia.
d) Uso eventual de exames especiais: difratometria e eflorescência de raios-X, identificação de microorganismos presentes etc.

6.4 - Características e propriedades de uma argamassa de restauro

a) Que seja durável, capaz de resistir ao intemperismo e à agressão do uso ➔ Ensaios de envelhecimento acelerado em câmara programável ou simplesmente em solução saturada de Na_2SO_4;
b) Que tenha resistência mecânica adequada ao uso ➔ Ensaio de compressão axial e tração por compressão diametral;

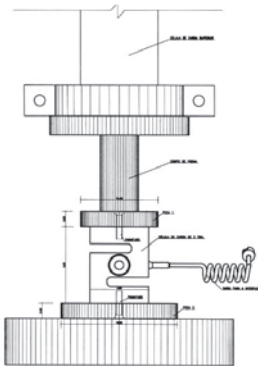



Fig. 5 – Adaptação criada no NTPR para ensaios de compressão mais exatos

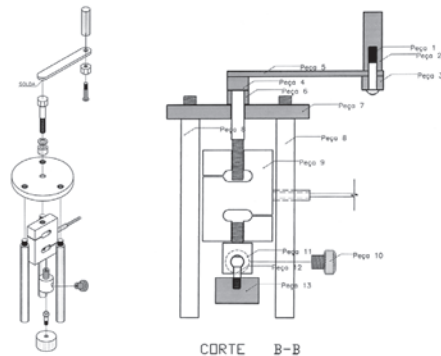



Fig. 6 – Equipamento para ensaio de arrancamento desenvolvido no NTPR

c) Que tenha boa aderência ao substrato ➔ Ensaios de arrancamento (***pull-off***);
d) Que seja dimensionalmente estável ➔ Ensaios de expansibilidade;
e) Que tenham uma distribuição de porosidade compatível com a necessidade de propiciar permeabilidade ao vapor d'água e resistir melhor às tensões de cristalização ➔ Ensaios de permeabilidade ao vapor d'água e porosimetria a mercúrio;
f) Que não tenha na sua composição materiais estranhos, como sais solúveis e materiais orgânicos ➔ Análise da presença de sais solúveis e materiais orgânicos, especialmente no agregado;

g) Que apresente unidade visual e de textura com as argamassas antigas adjacentes (compatibilidade visual);
h) Que tenha boa trabalhabilidade, o que tem a ver com a consistência, e a plasticidade ➔ Ensaios de *flow-table*;
i) Tixotropia (aderência inicial quando lançada a uma superfície mesmo um teto);
j) Perda de plasticidade pela sucção do substrato (*puxar* fácil).

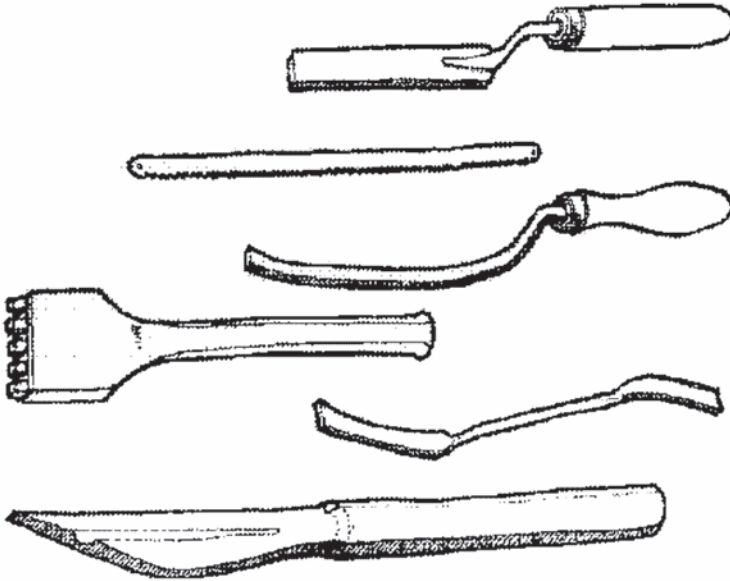



Fig. 7 – Instrumentos para escarificação e reintegração de juntas de argamassas (Ashust)

6.4 - Colagens de argamassas de revestimento ao substrato

Ensaios de aderência com equipamentos de tração (ensaio *pull-off*).

Ensaios de percussão:

- Expeditos ➔ somente auditivos.
- Com medição da freqüência (mapeamento computadorizado).

6.5 - Técnicas construtivas especiais

- Argamassa de “pó de pedra” e “cimento penteado”.
  Composição e técnica de aplicação;
  Dificuldades de limpeza e restauro;

- *Graffito* ou *sgraffito* ➔ Técnica sofisticada para obter efeitos decorativos no revestimento. Muito empregada no Renascimento italiano Ex: Palazzo Vitelli (Cità di Castelo) e Chiesa dei Cavalieri, do Vasari (Pisa).
  Constituição: 2 ou mais camadas finas de argamassas. O estrato da superfície é cal branca e as outras coloridas.
- Pedras artificiais e estuques, de maneira geral ➔ Técnica muito antiga que empregava o gesso ou a cal como aglomerante das misturas das argamassas. Conceito de "pedra artificial" contido no NORMAL 1/88.

Aplicados sobre tijolos, pedra, madeira e outros materiais.
Escaiola (do italiano *scagliola*) ➔ Argamassa de gesso e cola para conseguir imitação de pedra.

Marmorino: Obtido com argamassas onde se emprega pó de calcário fino (preferencialmente mármore) como agregado.
Técnicas de polimento:
A fresco ➔ Molhado com uma solução de sabão de Marselha e afagado com a colher de pedreiro.
A quente ➔ Depois do banho da solução de sabão é passado um ferro quente (entre 60 e 70ºC).
A seco ➔ Polimento final obtido com cera, depois de aplicados os procedimentos do banho de sabão e afagamento a colher.

Receita para estuque polido, segundo Montagni			
Substrato grosso	Cal em pasta Areia lavada Água de cal	35% 50% 15%	Várias granulações
Emboço	Cal em pasta Areia lavada Pó de mármore Água de cal	30% 16% 40% 14%	Várias granulações
Reboco 1ª camada	Pasta de cal Pó de mármore Água	30% 56%	
Reboco 2ª camada	Veladura de pasta de cal	100%	
Eventuais aplicações de cor com pigmentos e água de cal			
Primeira "cristalização"	Solução de sabão e sucessivas passagens de ferro quente		
Segunda "cristalização"	Cera de abelha		

Vitrúvio faz referência a sete camadas para um bom revestimento.

Forros de estuque ➔ Estruturação: canas, fasquias, tela *deployée*. Comuns no ecletismo.
Formas e moldagem de ornatos de estuque ➔ Materiais antigos e modernos. Formas perdidas e para trabalhos repetidos.

III. DEGRADAÇÃO DOS MATERIAIS POROSOS

> [...] *aspergine et gelu pruinisque rumpuntur in testas, nec contra auram maris robusti. Tiburtini, ad reliqua fortes, vapore dissiliunt.*
> **PLINIUS**[3].

1 - ALGUNS FENÔMENOS DE DEGRADAÇÃO

a) Tensões superficiais de cristalização;
b) Dissolução de componentes solúveis;
c) Gelo e degelo nos poros;
d) Ataque biológico ➔ Micro e macro;
   Aves, mamíferos, insetos, bactérias, algas, fungos, líquens e plantas;
e) Vandalismo e imperícia de intervenção;
f) Choque térmico;
g) *Stress* mecânico;
h) Vibração;
i) Ação química de agentes poluentes e da água;
j) Radiação (luz natural e artificial).

2 - PAPEL DA ÁGUA COMO AGENTE PROMOTOR DA DEGRADAÇÃO

2.1 - Superfícies *hidrófugas* e *hidrófilas*

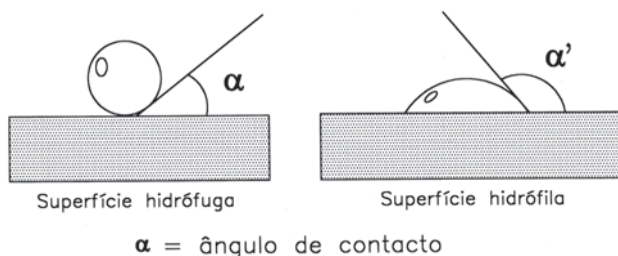



Fig. 1 – Comportamento da água nas superfícies

2.1.1 - O significado da *ponte de hidrogênio* com elementos polares da superfície ($O^{=}$ e OH^{-}) (Fig. 2).

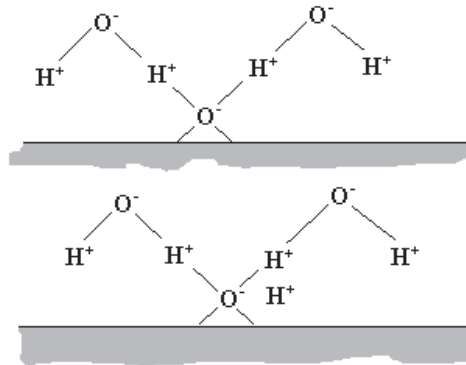



Fig. 2

2.2 - Capilaridade e força capilar

2.3 - Deslocamento de água em um corpo

2.3.1 - Estado líquido

a) Sucção;
b) Difusão;
c) Osmose;
d) Eletrocinese;
e) Calor.

2.3.2 - Estado de vapor

a) Condensação e adsorção;
b) Evaporação e desorção.

2.4 - Água

Agente causador do transporte dos sais;
Hidratação do SO_2 ➔ H_2SO_4;
Desenvolvimento de microorganismos;
Dissolução e gelo-degelo.

3 - DEGRADAÇÃO MECÂNICA ➔ STRESS

Lei de Hook: elasticidade – deformação.
Esforços: Tração - compressão - flexão - torção - cisalhamento.

3.1 - Falta de homogeneidade na distribuição de tensões

Materiais com módulos de elasticidade (E) diferenciados;
Casos práticos ➔ Ex.: pilares do Mercado Modelo (Salvador - Bahia), Catedral de Pavia.

3.2 - Pedra, cimento, concreto e tijolo

Pouca elasticidade;
Resistem melhor à compressão;
Materiais estranhos podem aumentar ou diminuir a resistência ➔ Nem sempre lógico. Ex.: parafina aumenta 400% a resistência dos calcários.

3.3 - *Stress* externo

3.3.1 - Cargas produtoras de compressão e flexão.

3.3.2 - Expansão térmica

- Clima ➔ Inércia térmica;
- Incêndio ➔ Choque térmico;
- A ação do sol e a retração noturna;
- A falta de juntas de dilatação;
- Efeito nas vigas;
- Lajes de revestimento sem proteção;
- Expansão “ε” com variação de temperatura de 0 a 30°C:

Material	“ε” (em mm)
Mármore	0.15
Cimento e concreto	0.30
Calcário	0.15
Granito	0.25
Argamassa de cal e areia	0.30-0.40
Tijolo	0.15-0.20
Ferro	0.30
Vidro	0.30
Resinas termoplásticas	1.50-3.00
Alumínio	0.70

Ex.: mármore ➔ Cristais de calcita ($CaCO_3$):

"ε" (longitudinal) = 25 x10^{-6} ; "ε" (transversal) = -5 x 10^{-6}.

3.3.3 - Operações violentas sobre a pedra

a) Extração;

b) Trabalho e tratamento;

c) Limpeza;

3.4 - *Stress* interno

3.4.1 - Gelo e degelo ➔ Climas temperados e frios.

3.4.2 - Cristalização de sais (Figs. 3 e 4).

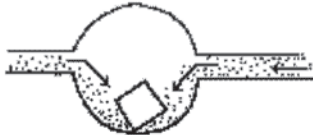
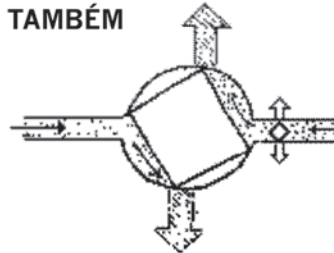



Fig. 3 – Tensão de cristalização nos poros

Maiores danos nos poros de ϕ = 0.1-1μ.

- Crescimento natural;
- Hidratação de Na_2SO_4, Na_2CO_3, $CaSO_4$ etc.;
- Erosão alveolar ➔ Equívocos com erosão eólica;
- Fenômeno da eflorescência.

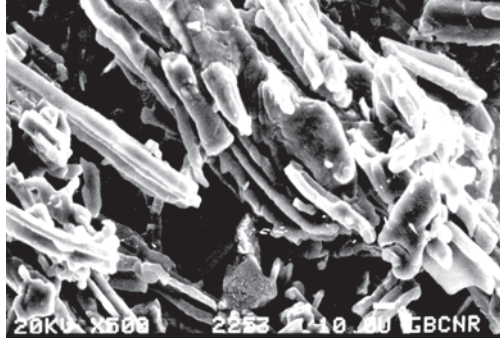



Fig. 4 – Fotomicrografia SEM de sais solúveis (sulfatos) encontrados no Museu de Arqueologia da UFBA. Gentileza de G. Alessandrini.

3.4.3 - Oxidação de metais, especialmente o ferro.

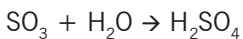
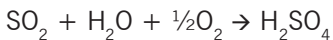
4 - DEGRADAÇÃO QUÍMICA

4.1 - Água de chuva

- Dissolução;
- Ataque ácido: $CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$;
- Hidrólise e hidratação.

4.2 - Poluição atmosférica

$SO_2 + H_2O + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2SO_4$

$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$

Desgaste em mármores (Winkler) ➔ 1mm/ 25anos;

As etapas de ataque.

4.3 - Vapor d'água do aerossol

Formação de crostas ➔ *Crosta negra*;

Evaporação – Umidificação;

Transporte de poluentes através de fissuras e poros.

4.4 - Climatologia e poluição

4.5 - Formação de crostas negras

4.5.1 - Localização:

Superfícies verticais e zonas que recebem pouca chuva.

4.5.2 - Espessura e formação

- Camadas de pó ou depósitos superficiais de pó pouco coerentes;
- Incrustações homogêneas e duras;
- Espessura de 0,5 a 3mm;
- Penetração nas fissuras e poros;
- Tendências:
  Endurecer com o tempo;
  Aumentar diversidade de dilatação;
  Absorver mais calor para a pedra;
  Destacar-se, trazendo material lapídeo.

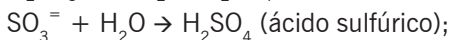
4.5.3 - Componentes

Exames	
	Microscopia
	Difratometria de raios-X
	Análise química

Componentes:

- Gesso;
- Calcita;
- Quartzo eólico ou residual;
- Oxalato de cálcio ➔ Metabolismo dos liquens;
- Fosfato de Ca e K ➔ Dejetos de animais.

4.5.4 - Papel do $SO_2^{=}$ e do $SO_3^{=}$

Hipóteses:

$SO_2^{=} + H_2O \rightarrow H_2SO_3$ (ácido sulfuroso);
$H_2SO_3 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2SO_4$ (ácido sulfúrico);
$SO_3^{=} + H_2O \rightarrow H_2SO_4$ (ácido sulfúrico);
Catalisadores: NO, NO_2^{-}, O_3 e outros.

5 - BIODEGRADAÇÃO

Vegetais superiores ➔ Especialmente ação mecânica;
Algas e microorganismos ➔ Metabolismo ➔ Agentes agressivos.
Insetos ➔ Alimentação.
Animais em geral ➔ Dejetos, carcaças, desgaste feito por garras, bicos, dentes etc.

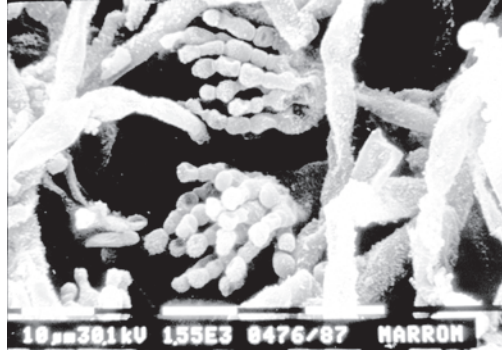



Fig. 5 – Microfotografia SEM de *Aspergillus sp.,* que infestavam o mural de Genaro de Carvalho (Tropical Hotel). Gentileza de O. Salvadori

5.1 - Bactérias e fungos (Fig. 5)

Tiobacilos (do enxofre) ➔ H_2SO_4;

Bactérias do ciclo do nitrogênio ➔ HNO_3;

Oxidantes da matéria ➔ Ácido oxálico;

5.2 - Algas

Climas úmidos como o da Bahia (Brasil); Provoca o enegrecimento de rebocos, rochas e até penetra pelo craquelê do vidrado dos azulejos.

Fig. 6 – Azulejos com manchas provocadas por colônias de cianobactérias

Evitar tratamento com materiais alcalinos (pH > 7).

5.3 - Líquens

Fungos + algas (simbiose);
Muito resistentes ➔ Difícil limpeza;
Produzem o ácido oxálico.

5.4 - Musgos

Ataques até 1cm de profundidade;
Preferem superfícies alcalinas. Ex.: cimento.

5.5 - Plantas superiores

Grande problema tropical. No Brasil, as aroeiras (*Schinus terebinthifolius*) as figueiras bravas (*fícus gomelleria, ficus calyptroceras*) dentre outras.

5.6 - Insetos ➔ Alguns isópteros, coleópteros (ver capítulo de madeira) e lepismas.

5.7 - Outros Animais ➔ Aves, mamíferos roedores, moluscos etc. (ver capítulo de madeira).

6 - FENÔMENOS VIBRATÓRIOS

Significativos quando combinados com outros;
Toda vibração dissipa energia;
Transmissão dos efeitos vibratórios.

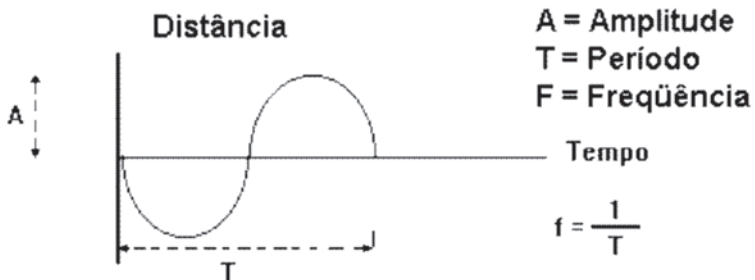



Fig. 6 – Gráfico da vibração

6.1 - Medição ➔ Acelerômetros

Impulsos mecânicos ➔ Impulsos elétricos (Fig. 6).

Elementos ➔ Freqüência / Amplitude / Aceleração

- Amplitude medida em ***mícrons*** = 0.001mm
- Limite de percepção ➔ A = 10μ a f = 5Hz
- Maior problema para o homem ➔ **f**
- Tráfego: A = 5-10μ ; f = 10-30Hz

6.2 - Velocidade (velocidade de ***peak***)

v = 2.A.f ➔ Para movimento senoidal
v = 0.3mm/seg ➔ Percepção
v = 2.5mm/seg ➔ Irritante

Velocidade admissível para vibração:

- Ruínas e edifícios de valor histórico ➔ 2mm/seg
- Construções com defeitos ➔ 5mm/seg
- Construções sem danos ou com pequenos defeitos no reboco ➔ 10mm/seg
- Construções robustas ➔ 10-40mm/seg
- Para pisos e forros ➔ Máximo de 20mm/seg
- (DIN-4150 de 1972 para uma freqüência f = 8-80Hz).

6.3 - Irregularidades no pavimento (calçamento)

Maior causa de vibração de tráfego.
Ressalto de 20mm ➔ Vibração de v = 5mm/seg.

6.4 - "Boom" sônico

Aviões supersônicos.

6.5 - Terremotos e seus efeitos no patrimônio cultural construído

Exemplos: Nápoles, Venzone, Antígua, Manágua etc.

7 - MEDIÇÃO DA POROSIDADE

$$p = \frac{V_v}{V} \times 100$$; onde: V_v = volume de vazios

7.1 - Categoria de porosidade dos corpos:

Extremamente poroso	> 20%
Muito poroso	10 – 20%
Bastante poroso	5 – 10%
Medianamente poroso	2,5 – 5%
Pouco poroso	1 – 2,5%
Muito compacto	< 1%

7.2 - Ensaios

- Porosidade total acessível à água ➔ Ensaio normatizado pela ABNT;
- Porosimetria a gás;
- Porosimetria a mercúrio ➔ Distribuição da porosidade, conformação dos poros, volume de vazios etc. O tamanho dos poros influi, como se sabe, na maior ou menor resistência em relação às tensões de cristalização.

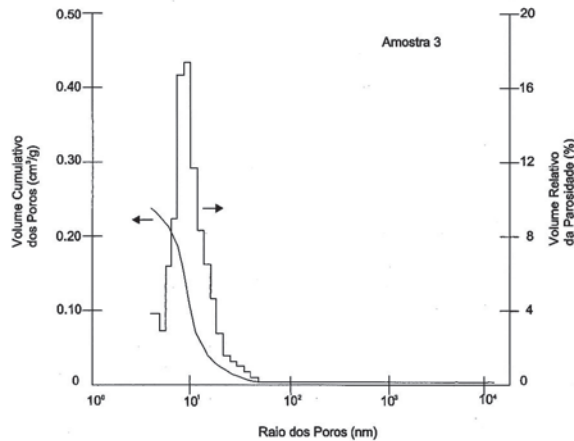



Fig. 8 – Diagrama de ensaio de porosimetria a mercúrio

IV. UMIDADE

La pioggia infatti è sempre pronta a dannaggiare; non perde la minima occasione per far del male: perfora sottilmente, rammollisce, corrode di continuo tutta l'ossatura dell'edificio; finché guasta l'intera costruzione e la manda in rovina. **ALBERTI** [(4)].

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Umidade ➔ Um efeito.
Seu estudo, um trabalho científico;
Não confiar no "bom senso": **medir e diagnosticar**.

1.2 - Preocupações na antiguidade
Antigos sabiam dos efeitos nocivos da água:

- Bíblia ➔ Levítico XIV, 34-37 - "Lepra" da parede;
- Vitrúvio ➔ Observações e recomendações: Livro VII, 4;
- Turriano ➔ Século XVI. MS.3372-3376, Biblioteca de Madri.

1.3 - Julgamento através dos efeitos não quantifica
Mancha no reboco não define grau de umidade;
Erosão, molhação, secagem e eflorescência;
Presença de sais ➔ Fonte de migração de sais.

Fungos | ➔ Falta de luz e ventilação
| ➔ Substâncias orgânicas mais que umidade

2 - ORIGEM DA UMIDADE

- Invasão (edifícios velhos):
  - Condensação;
  - Capilaridade.
- Construção (edifícios novos).

2.1 - Distribuição da água de invasão

Ascendente/descendente ➔ Maior no núcleo do muro;
Condensação ➔ Manchas cíclicas;
Chuva que infiltra ➔ Manchas vêm e vão.

2.2 - Umidade dos materiais da obra ➔ Argamassa, pedras

2.3 - Entrada de água na parede

- Ascendente ➔ Terreno;
- Depositada pelo ar em toda a parede;
- Depositada pelo ar em manchas ➔ Higroscópica;
- Efeitos da chuva inclinada;
- Outros:
  a) Vazamentos
  b) Lesões
  c) Dilatação etc.

2.4 - Características da umidade ascendente e de condensação

2.4.1 - Umidade ascendente ➔ Imutabilidade:

- Quantidade de água sempre a mesma;
- Parte baixa dos edifícios ➔ Decrescente, quando sobe;
- Nunca ultrapassa h = 4m do nível da rua;
- Tolerável: tijolo 3% - pedra 5% (em massa);
- Remédio ➔ Interromper o fluxo capilar.

Salinidade:
Efeito correlato ➔ Eflorescência. Provoca a “lepra” nas paredes da casa.
Principal sal e mais migrante ➔ **$MgSO_4$**
Outros:

Sulfatos | $CaSO_4$
| Na_2SO_4 (mais violento ➔ ensaios)
Cloretos ➔ NaCl (do mar)
Nitratos KNO_3 (raros no terreno ➔ esgotos)

Sal | No material ➔ Limitado
| No terreno ➔ Inesgotável

Resumindo:

a) Sais presentes no muro

- Muito solúveis:

  $MgSO_4$

  Na_2SO_4

- Pouco solúveis (1/500)

  $CaSO_4$

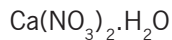
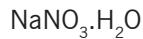
  $CaCO_3$

b) Sais vindos de fora:

- Solúveis em água ➔ Nitrato de potássio;
- Mais que solúveis ➔ "Liquefazentes";

  $NaNO_3.H_2O$

  $Ca(NO_3)_2.H_2O$

  $CaCl_2$

Eflorescência em tijolos isolados:

- Água da massa, do tijolo, da argila;
- Quase sempre o $CaSO_4$. Menos: $CaCO_3$;
- Não significa que o muro esteja úmido.

Controlar eflorescência ➔ DIFÍCIL.

Princípios gerais:

- Cortar umidade circulante;
- Não lavar com água porque é diluente;
- Não usar ácidos porque há recomposição;
- Limpar à seco;
- Usar emplastros: Argilas bentoníticas, papel etc.

2.4.2 - Umidade de condensação

Fenômeno descontínuo ➔ Frio.

Mais água no reboco ➔ Menos no interior.

Remédios:

- Aquecimento, aeração e isolamento do muro;
- Faixa ótima de umidade: 50-70% U.R.

Mofo ➔ Após 75%

Mofo resistente: *Merulius lacrimans* ➔ Até 27%;
Remédio ➔ Ventilação.

Afrescos ➔ Sofrem com variações, que é pior que umidade constante.
Evitar:
1. Remédios miraculosos;
2. Simplismos técnicos;
3. Revestimentos: Cimento, betume, placas impermeáveis, etc.

3 - PRINCÍPIOS DA CONDENSAÇÃO

3.1 - Saturação

Em $1m^3$ de ar, temos 31g de água na temperatura de 30°C;
Resfriado para 20°C ➔ Saturação: 18g;
Logo, condensação: 13g (18 + 13 = 31g).

Alguns graus de saturação:

0°C	$7{,}61g/m^3$
10°C	$9{,}32g/m^3$
20°C	$17{,}11g/m^3$
30°C	$31g/m^3$

3.2 - Umidade absoluta

$$U.A. = \frac{M.V}{V.ar}$$

$U.A.$ = Umidade absoluta (g/m^3)
$M.V$ = Massa de vapor (em qualquer temperatura) (g)
$V.ar$ = Volume de ar (m^3)

Não indica:
a) Se o ar está saturado;
b) Se pode ainda absorver vapor;
c) Quanto pode absorver.

3.3 - Umidade relativa (mais importante)

Relação percentual entre a umidade absoluta ($U.A.$) e a saturação (S), na mesma temperatura.

$$U.R. = \frac{U.A.}{S} \times 100 \qquad U.R. = \frac{U.existente}{U.max.}$$

3.4 - Instrumentos de medição

a) Leitura indireta (tabelas). Ex.: psicrômetros;

b) Leitura direta ➔ Regulagem periódica (Fig. 1).

Tipo (a):

- Temperatura de condensação medindo o *dew point* ou ponto de condensação;
- Resfriamento por evaporação (psicrômetros). Corrente de ar ➔ 4m/seg:
    1) Evaporação manual ➔ Psicrômetro de molinete;
    2) Ventilação mecânica ➔ Corda;
    3) Ventilação elétrica ➔ Motor.

Tipo (b):

- Medição baseada em materiais sensíveis à umidade e em infravermelho (I.V.) (Fig.2);
- Capacidade ou resistência elétrica ➔ Protímetro e xilohigrômetro (Fig. 2);
- Eletrônicos (Fig. 2);
- Variação de cor;
- Difusão.

Higrômetros mais usados | De papel
De cabelo ou fio sintético

- Medição de $U.R.$ e temperatura ➔ Termohigrômetros (Fig. 2);
- Higrômetros registradores ➔ Higrógrafos;
- Higrômetros + termômetros registradores ➔ Termohigrógrafos (Fig. 1).

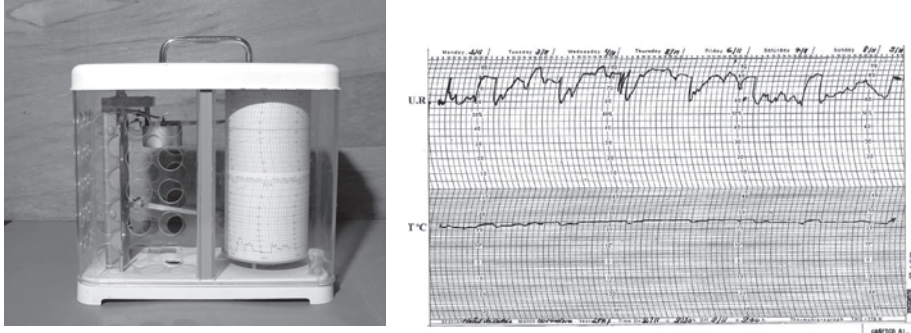



Fig. 1 – Termohigrógrafo e gráfico indicando variação de temperatura e umidade relativa

Umidade relativa percentual →

°C	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100 (%)
1														0	1	2	3
2														0	1	2	3
3													0	1	2	3	4
4												0	0	1	2	3	4
5											0	0	1	2	3	4	5
6										0	1	2	3	4	5	6	7
7									0	1	2	3	4	5	6	7	8
8								0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9							0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10							0	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
11						0	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12
12						0	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13
13					0	1	3	4	5	7	8	9	10	10	11	12	13
14				0	1	2	4	5	6	7	9	9	11	12	13	14	14
15				0	2	3	4	6	7	8	10	11	12	12	13	14	15
16				0	2	4	6	7	8	9	11	12	13	13	14	15	16
17				2	3	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
18			0	2	4	6	7	9	10	11	12	13	15	15	16	17	18
19			1	3	5	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20		0	2	4	6	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21		0	3	5	7	8	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
22		1	4	6	8	9	11	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
23	0	2	4	7	9	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22	23
24	0	3	5	8	10	11	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	0	4	6	8	10	12	14	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25
26	1	5	6	9	11	14	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26
27	2	5	8	10	12	14	16	17	19	20	21	22	23	24	25	26	27
28	3	6	9	11	13	15	17	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28
29	4	7	10	12	14	16	18	19	20	22	23	24	25	26	27	28	29
30	5	8	11	13	15	17	19	20	21	23	24	25	26	27	28	29	30
31	6	9	12	14	16	18	20	21	22	24	25	26	27	28	29	30	31
32	7	10	13	15	17	19	21	22	23	25	26	27	28	29	30	31	32
33	8	11	14	16	18	20	22	23	24	26	27	28	29	30	31	32	33
34	9	12	15	17	19	21	23	24	25	27	28	29	30	31	32	33	34
34	10	13	16	18	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	33	34	35

↑ Temperatura do ambiente

Limites de temperatura admissíveis na parede

Tabela de condensação adaptada do texto de Gäel de Guichen: *Le climat dans les musées*

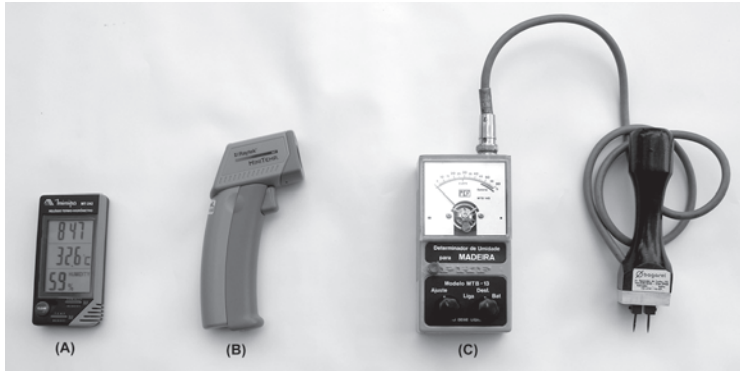



Fig. 2 – (A) Termohigrômetro digital, (B) termômetro I.V. e (C) xilohigrômetro

3.5 - Índices de *U.R.* recomendados

0 a 45% ➔ Inorgânicos
- Metal
- Pedra
- Cerâmica

42 a 45% ➔ Inorgânicos ➔ Vidro sensível

45 a 55% ➔ Orgânicos ➔ Fósseis

50 a 65% ➔ Orgânicos
- Madeira
- Papel
- Tecido
- Marfim
- Couro (pergaminho)
- Pintura

100% ➔ Objetos provenientes de grande umidade.

4 - MEDIÇÃO DA UMIDADE

4.1 - Ambientes ➔ Visto em 3, especialmente em 3.4.

4.2 - Muros

2 processos + simples: elétrico e ponderal

a) Método elétrico ➔ Menos preciso, pois a condutibilidade depende do sal, mas se indica que é “seco”, é confiável.

Medidores elétricos	2 terminais Contato de superfície (constante dielétrica) Microondas (complexo)

b) Medida ponderal

Metodologia:

- Coleta de amostra ➔ Disposição na parede;
- Guarda de amostra ➔ Vidros com tampa esmerilhada e outros;
- Profundidade ➔ 15 a 20cm.

Tipos de alvenaria	**Tijolo comum**	**Pedras ***	**Outros**
Umidade própria (U.P.)	1%	até 4%	Umidade própria
Higiênico	até 3%	até 6%	U.P. + 2%
Tolerado	até 7%	até 7%	U.P. + 3%
Úmido	8 a 9%	7 a 15%	———
Umidíssimo	> 9%	> 15%	———

* Massa específica < 1.9 t/m^3

4.3 - Representação gráfica das medições em muros e pavimentos

Casas novas ➔ Regularidade

Casas velhas ➔ Irregularidade

4.4 - Condições de sanidade e higiene de uma casa

I) Conteúdo máximo de água nos muros

II) Proteção térmica mínima dos muros perimetrais

4.5 - Medição da temperatura em função da proteção térmica dos muros

Fórmula fundamental do coeficiente de transmissão:

$$K = \frac{kcal}{m^2.h.^{o}C} calorias$$

K = Número de quilocalorias, que é o fluxo de calor que passa em $1m^2$ de parede em 1h por diferença de temperatura de $1^{o}C$ entre interior e exterior.

Atualmente no SI (Sistema Internacional) o *watt* substitui a caloria:
1 caloria/hora = 1,163W.

$$K = \frac{W}{m^2\,^{o}C} watts$$

4.6 - Condensação e superfícies higroscópicas

4.7 - Classificação de materiais

Suas condições higiênicas.

Metodologia:

- Corpos de prova de 30x15x15cm, fabricados ou tirados da pedreira há mais de seis meses;
- Não secar na estufa. Passar 20 (vinte) dias no sol e em local arejado, evitando a chuva, considerando, então, naturalmente enxuto;

Umidade tolerável = Umidade natural + 2%.

5 - UMIDADE ASCENDENTE DO SUBSOLO

Classificação e tratamento (Fig. 11).

5.1 - Origem de alimentação

Água dispersa ➔ Mais difícil de saber a causa;

Lençol freático.

Método de inspeção:

a) Abrir várias cavas ao lado do muro até encontrar terreno enxuto;

b) Verificar tubos, fossas, cisternas, vizinhos etc.;

c) Ver se drenagem dos tubos de queda, de bicas e drenagens superficiais estão bem conectadas;

d) Testar tubulação de água potável.

Características:

A) Água dispersa

❶ Manifestações fortes, mas em um só lado da parede do edifício;

❷ Um só edifício ou grupo bem vizinho;

❸ Apresenta oscilações.

B) Alimentação freática

❶ Uniforme em todo o edifício, se for feito com o mesmo material;

❷ Máximo nas fachadas menos insolejadas;

❸ Comum aos edifícios da mesma zona;

❹ Não oscila durante o ano.

5.2 - Observações

- Nível do lençol sobe ou baixa por intervenções ➔ Barragem ou sucção;
- Muros menos e mais absorventes:
  a) Muros de tijolos bem feitos ➔ + absorventes
  b) Muros de pedra ➔ Umidade lenta
  c) Material impermeável ➔ Umidade não sobe pela massa
    - Usa-se eosina para ver a progressão;
    - Ponto de equilíbrio ➔ O que sobe evapora;
    - Se vedamos a área, sobe mais.

5.3 - Índice de equilíbrio

$$Ie = \frac{Se}{Sa}$$

Se = Superfície de evaporação
Sa = Superfície de absorção

Experimentalmente:
Pilares e colunas........ $\boldsymbol{Ie}$ = 2 a 3
Paredes externas........ $\boldsymbol{Ie}$ = 3 a 8
Paredes internas......... $\boldsymbol{Ie}$ = 4 a 10

5.4 - Índice de ascensão ou subida

$$Ia = \frac{Ha}{E}$$

Ha = Altura da umidade
E = Espessura do muro

5.5 - Controle da umidade ascendente

A) Método de Koch:
Fundamento ➔ Redução da Superfície de absorção (Sa);
Emprego limitado;
Reduz resistência do muro;
Experiência com tijolos;

B) Método de barreira física ➔ Variantes:

B1) Processo antigo ➔ Venezianos;

- Abertura de fresta;
- Aplicação de lâmina de chumbo;

Problemas:

Muito penoso ➔ Chumbo se oxida;

Difícil ➔ Após 0,80m e com muro instável;

B2) Método de Massari:

Modernização do processo antigo;

Furadeira substitui talhadeira;

Resina sintética substitui chumbo ➔ Inerte elétrica e quimicamente;

- Ingredientes e condições:

Furadeira 0,7Kw;

Pó de mármore ou areia fina;

Massa | Volume = Aberturas
Resina = 38% do volume dos furos

Temperatura de operação > 14°C;

Polimerização ➔ 3 a 4 horas;

Não deixar bexigas;

Resistência: s = 800Kg/cm^2 (80MPa);

Pode-se usar resinas de epóxi + cargas.

Operação:

a) Furação;

b) Limpeza e enxugamento com ar quente;

c) Folha de polietileno para forrar (0,05mm);

d) Evitar umidade da massa.

C) Interceptação capilar com barreira química (Fig. 3 e 4)

Processo menos seguro, mas menos caro

Peter Cox ➔ 20 anos de garantia?

- Substâncias químicas ➔ Resinas silicônicas dissolvidas em: xilol - látex - polissilicato de etila.
- Furação ➔ A cada 10-12cm.

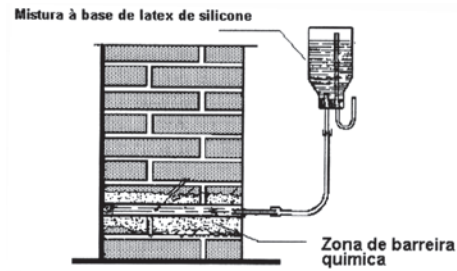



Fig. 3 – Aplicação de barreira química por absorção lenta

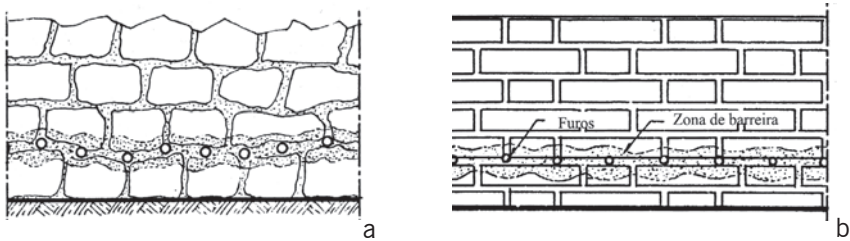



Fig. 4 – Furos para aplicação de barreira

5.6 - Trabalhos inúteis

a) Vazios internos e externos;
b) Sifões de Knapen e variantes;
c) Rebocos impermeabilizantes.

5.7 - Enxugamento por eletrosmose

5.7.1 - Enxugamento de terrenos

Tubo furado ligado a polos de c.c.

Água (+); Repulsão (-);

- Possibilidade ➔ Retirada de 50 a 70% de água.

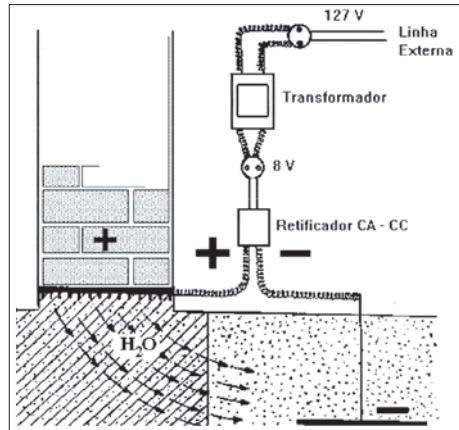



Fig. 5 – Eletrosmose ativa

5.7.2 - Enxugamento de paredes.

Mais problemático:

Temos que descer de U = 30% a U = 5% - Possível? (Fig.5).

5.7.3 - Eletrosmose passiva

De "curto circuito" ➔ Segundo Massari, não serve para coisa alguma.

Mostra a diferença de voltagem entre a base e o alto do muro (300 a 400mV). Depois de aplicado, o aparelho indica "0". Esta diferença reaparece com novos eletrodos.

5.8 - Contramuro interno

Princípio ➔ Parede singela a 5 ou 10cm;

Romanos já usavam (Fig. 6);

Aeração ➔ Fundamental;

Erros mais comuns;

3 tipos clássicos, um deles vitruviano.

5.8.1 - Exigências de um contramuro (Fig. 6).

Resumo:

a) Resistência térmica = 0,18 ou maior;

b) Nenhuma ligação com muro afetado, salvo com materiais impermeáveis;

c) Nenhum orifício para os ambientes;

d) Base sobre materiais impermeáveis;

e) Troca de ar com o exterior mesmo com ventilação forçada (mecânica);

f) Defesa total para a umidade de condensação.

Modernamente	Lã mineral Lã de vidro Resina expandida etc.

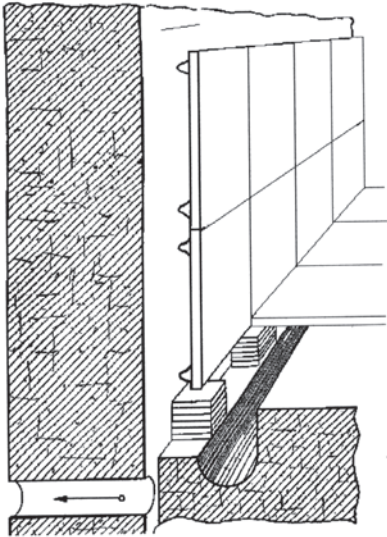



Fig. 6 – Contramuro romano

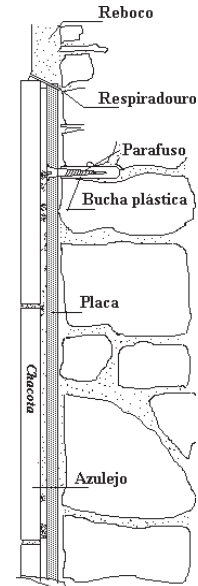



Fig. 7 – Proteção de azulejos

5.8.2 - Efeitos colaterais do contramuro inadequado ou de revestimento impermeável:

- Ascensão do nível da umidade;
- Efeitos mecânicos de retração;

Preferível deixar respirar o piso.

Curva das umidades ➔ Catenária.

5.8.3 - Amostragem e análise

2 amostras:

a) Argamassa do reboco

b) Profundidade de 15 a 20cm

Quando:

- Menor ➔ Umidade por condensação (5 a 15%);
- Maior ➔ Umidade ascendente (15 a 25%).

5.9 - Construção de pisos sobre câmaras de ar

Impermeabilização sob as câmaras (Fig. 8 e 9).

Recomendamos:

a) Material de enchimento de baixa massa específica e seco;

b) Não usar areia, arenito, calcário etc.;

c) Asfalto sob as câmaras;

d) Não apoiar o pavimento em elementos de concreto armado;

e) Resistência térmica do piso da câmara é a do terreno normal;

f) Ventilar quando forem câmaras vazias ➔ Ilha das Vacas (Bahia, Brasil), Presídio S. José em Belém, Intendência de Maceió etc. (Fig. 7).

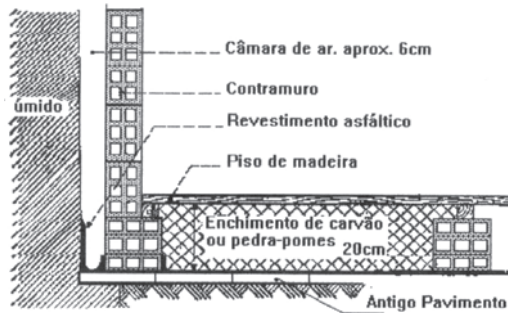



Fig. 8 – Contrapiso segundo Massari

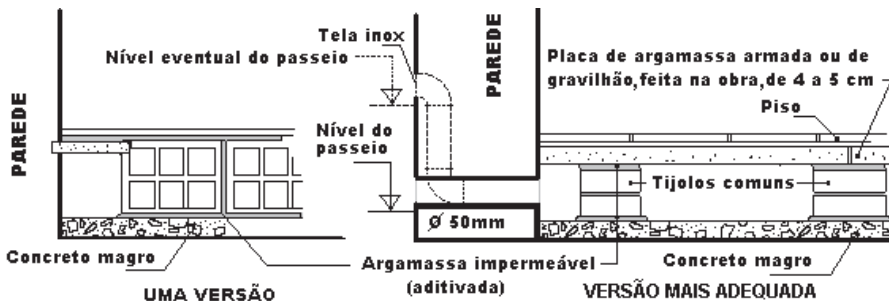



Fig. 9 – Contrapisos aplicados na casa da Ilha das Vacas (esquerda), na Intendência e no Palacete Théo Brandão, em Maceió (direita).

6 - UMIDADE DE CONDENSAÇÃO

Deriva exclusivamente da mudança de temperatura;
Ex.: terreno conserva temperatura quando o tempo já esquenta.

6.1 - Pesquisa da "parede fria"

Termômetros especiais;
Especialmente ➔ Termômetros óticos;
Remédio ➔ Uso do calor;

6.2 - Condensação superficial

a) Molha quando a superfície é impermeável. Ex.: mármore, metal...
b) Mancha quando é absorvente. Ex.: reboco, ladrilho, gesso...

6.3 - Verificação da "parede fria"

- Transmissão térmica por metro quadrado (m^2) de parede;
- A resistência térmica por m^2 não deve ser menor que 1 (0,9) e 0,8 (0,7);
- Resistência térmica total é o inverso do coeficiente total de transmissão (K).

$$K = \frac{1}{R}$$

Cálculo da resistência térmica ➔ Função do material (tijolo, arenito etc.).

$$R = \frac{1}{a_1} + \frac{E_1}{c_1} + \frac{E_2}{c_2} + \ldots + \frac{1}{e_1}$$

Equivalência dos símbolos:

$$R = \frac{m^2 h^\circ C}{kcal} \; ou \; \frac{m^{2\,\circ} C}{W}$$

R = Resistência térmica
a_1 = Coeficiente de admissão de calor para o ar interno
7 (8,1)* - Vertical (paredes)
5 (5,8)* - Horizontal (pisos)

e_1 = Coeficiente emissão do ar externo

20 (23,2)* - Ventilação normal

50 (58,0)* - Ventos fortes > 40 Km/h

(*) Em quilocalorias e watts respectivamente.

c_1, c_2, c_3 = Coeficiente de condutibilidade dos vários materiais (v. tabelas);

E_1, E_2 ... = Espessura em (m) das camadas.

Exemplo: muro de tijolo (c = 0,7) com uma espessura E de 0,25m, recebendo uma ventilação normal. Subsitituindo na fórmula, temos:

$$R = \frac{1}{7} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{1}{20} = 0,14 + 0,35 + 0,05 = 0,54$$

(abaixo dos limites recomendados)

- Resistência cresce com espessura, exceto camada de ar, cujo máximo é R = 0,18 entre 4 e 6cm - depois estaciona;
- Não se justifica fazer tijolos muito prensados porque são pouco termocoibentes;
- Condutibilidade (c) cresce em geral com a massa específica dos materiais;
- Todos os materiais possuem certo teor de umidade e este teor aumenta a condutibilidade.

6.4 - Critérios de defesa contra condensação

a) Reduzir o vapor d'água interno quando este tem origem no interior;

b) Eliminar, quando se pode, os materiais pesados, bons condutores, cimentos, mármores etc;

c) Ventilação forçada;

d) Evitar o aquecimento do ambiente quando aumenta a evaporação de paredes úmidas.

6.5 - Umidade de condensação devido à ignorância de pessoas (mesmo técnicos)

a) Quando o jardineiro tira com plantas o sol incidente na casa

Perto, só de pequeno porte (Fig. 10)

h de 3m ➔ d = 7 a 8m

h de 8m ➔ d = 17 a 20m

h de 20m ➔ d = 40 a 50m

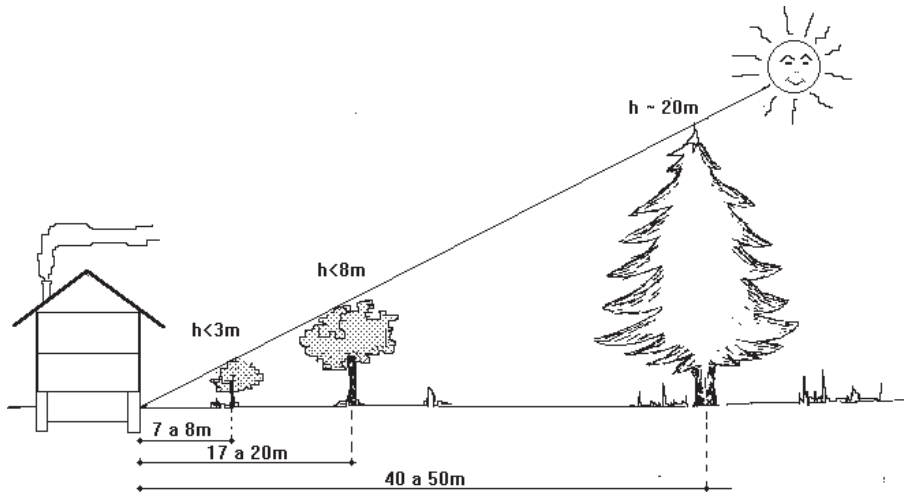



Fig. 10 – Controle de sombreamento na construção

b) Crenças e crendices sobre fenômenos climáticos
Exemplo: igreja de S. Colombano ➔ Solução local:
1) Grosso lastro de concreto armado para o piso sem câmaras de ar;
2) Drenagem (barreira) externa de L = 1m.

7 - ÁGUA DE CHUVA COM VENTO

Não atravessa parede bem construída.

Penetração | Pressão do vento
| Capilaridade

Pressão do vento:
- Até 150Kg/m^2 (15MPa) ➔ Furacões
- Média: 12Kg/m^2 (1,2MPa) a 45Km/h

Prova de absorção por capilaridade ➔ Instrumentos

8 - VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO ➔ Uso contra a umidade

- No caso da umidade ascendente, não resolve nada;
- Útil na umidade residual da construção;
- Diminui a umidade do ar no caso da condensação;

- Calor tem prós e contras;
- Circulação do ar evita mofo ➔ Abertura de respiradouros;
- Uso de tubos para tiragem.

8.1 - Eletroventilação ➔ Exaustores e ventiladores

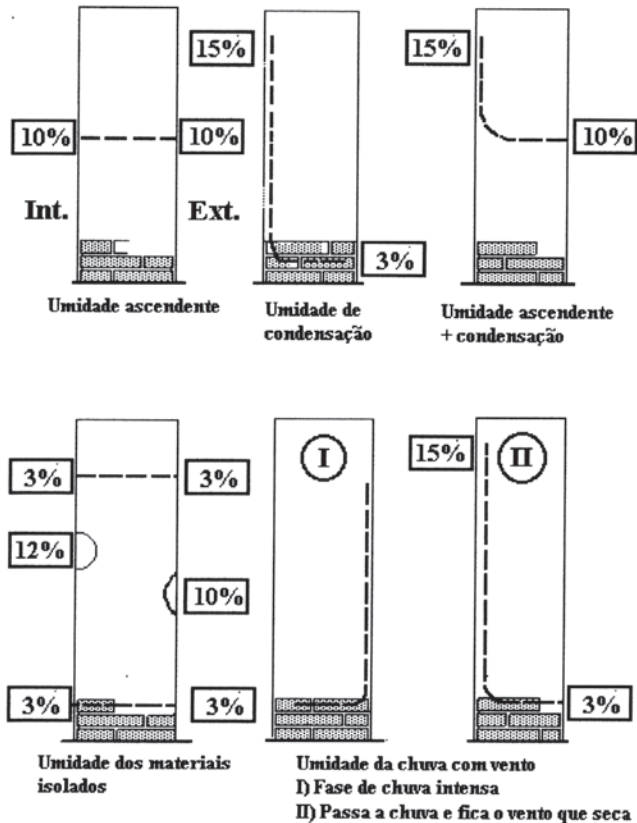



Fig. 11 – Medição característica de diversas espécies de umidade

9 - DEFESA DE OBRAS DE ARTE, MONUMENTOS E CENTROS HISTÓRICOS

Não se admite opinar sem exame e quantificação para diagnóstico.

9.1 - Exemplo

"Cenáculo" de Leonardo, no refeitório de *S.M. delle Grazie.*

Primeira intervenção em 1946 ➔ Centenas de anos de umidade.

Procedimento:

a) Sondados os muros (fora do campo pictórico) ➔ Umidade ≈10,9% até abaixo da pintura;
b) Zona da pintura "enxuta";
c) Película cromática atacada de fora e não de dentro da parede;
d) Umidade ascendente existia, mas a responsável era a condensação.

Medidas: 3 indicadas ➔ 2 já executadas

I) Piso com câmaras de ar (isolante)
II) Contramuro externo nas fundações
III) A fazer ➔ Barragem com resina

9.2 - Metodologia de operação

a) Dosagem de água na parede. Amostras de profundidade 15 a 20cm (Fig. 9).
b) Proveniência da água ➔ Alimentação
   Ascendente do terreno ?
   Perda da cobertura ?
   Tubulação ?
   Chuva e vento ?
c) Caso ossatura seja enxuta ➔ Hipótese da condensação
   Condições próprias do edifício ?

Metodologia local

- Temperatura das paredes hoje pode ser medida à distância com termômetros infravermelho;
- Evitar a técnica do *strappo*, mas sem bloquear a umidade em torno do afresco;
- Em Florença, foi salva a crucificação de Perugino, no refeitório de *S.M. Madalena dei Pazzi;*
- Muito difícil a defesa do afresco contra a condensação externa dos ventos do mar.

9.3 - Proteção surperficial das obras de pedra ao aberto

9.3.1 - Ataque

- Água da chuva;
- Água da umidade;
- Anidridos da poluição. Ex: SO_2

Pedra atacada:

- Banhada pela chuva ➔ CO_2
- Pouco exposta à chuva ➔ SO_2

9.3.2 - Proteções

Efetivas, mas difíceis de aplicação e com durabilidade limitada.

Tipos:

a) Físicas

Protetivos tradicionais ➔ Parafina, cera com solventes de benzinas, óleo de linho, vernizes etc.

b) Químicas

Protetivos:

- Combinados com a pedra fazem compostos mais duros
- Bem solúveis (dão eflorescência) ➔ Fluorsilicato de sódio e de potássio
- Menos solúveis (sem eflorescência) ➔ Fluorsilicato de magnésio e de zinco

c) Físico-químicas

Protetivos modernos ➔ Silicones, resinas vinílicas, resinas de poliéster etc.

Proposta de Massari em 1964 (Veneza) ➔ Novos materiais e menos artifícios pseudocientíficos.

V. ROCHAS ORNAMENTAIS (PEDRA)

> ***E perché tu intenda bene di molte cose, sono tre maniere: e sì come delli uomini sono tre ragioni, cioè gentili uomini, populari e contadini, così delle pietre sono tre maniere, cioè pietre fine, pietre non tanto fine e pietre non fine.* FILARETE** [5].

1 - ESTUDO DAS ROCHAS E SUAS PROPRIEDADES

Tema muito antigo: Referências vitruvianas;
Tratadistas do Renascimento e outros escritores antigos;
Ver tese de C. Santiago.

2 - DEFINIÇÃO

Rocha X Pedra
Geral: Conjunto de minerais constituindo uma parte integrante da crosta terrestre.
Fatores importantes no estudo prático das rochas: textura, dureza susceptibilidade ao intemperismo.

3 - CLASSIFICAÇÃO GERAL

Ígneas ou eruptivas
Sedimentares
Metamórficas

4 - FORMAÇÃO DA CROSTA TERRESTRE

Rochas mais antigas que encontramos ➔3.500 milhões de anos
Atual crosta até ~ 16km de profundidade (Fig. 1):
95% de rochas ígneas; 4% de argilíferas; 0,75% de arenitos; 0,25% de calcários.
Superfície:
5% de rochas ígneas; 0,75% de metamórficas; 75% de sedimentares; restante é gelo.

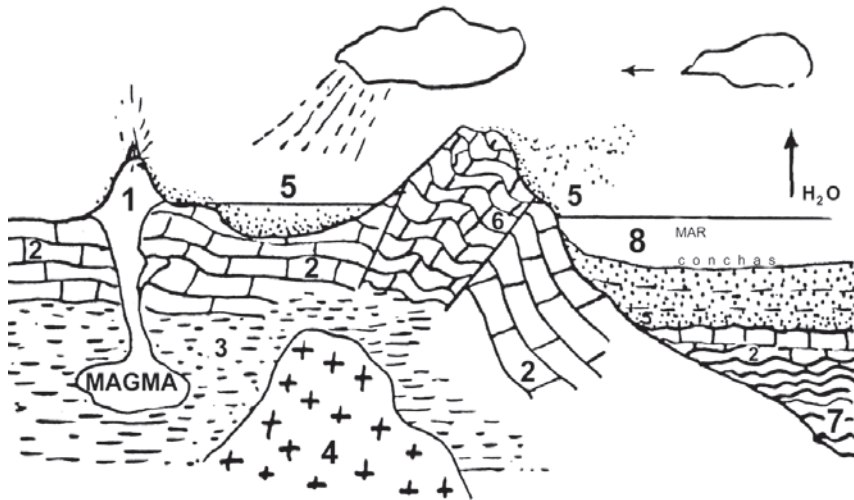



Fig. 1 – Gênese das Rochas: 1 – Rochas ígneas: lavas; 2 – Rochas sedimentares recentes; 3 – Rochas metamórficas de contato; 4 – Rochas ígneas: plutônicas; 5 – Sedimentos; 6 – Rochas sedimentares antigas; 7 – Rochas sedimentares regionais; 8 – Mar (Bacia de sedimentação).

5 - PETROGRAFIA (DESCRIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO) E PETROLOGIA (GÊNESE)

6 - ROCHAS ÍGNEAS

6.1 - Classificação geral
- ➚ Intrusivas (Plutônicas);
- ➔ Efusivas ou extrusivas (lavas) - Vulcânicas;
- ➘ Hipoabissais (*dikes).*

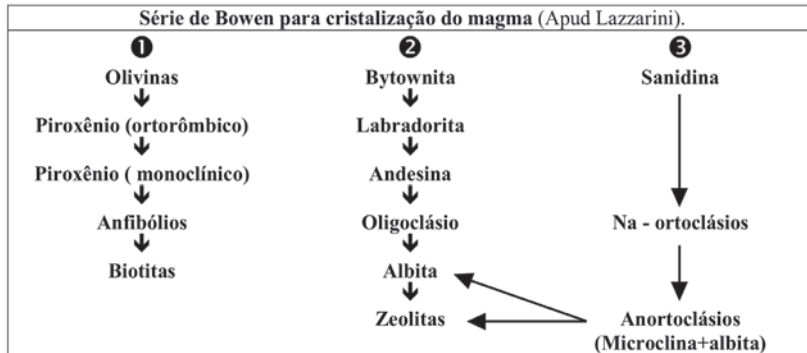
6.2 - Composição, fases e tipos do magma

Principal: SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO, CaO, K_2O e Na_2O;

a) Secundária: TiO_2, P_2O_5, ZnO, Cr_2O_3, MnO, BaO;

b) Vários gases: CO_2, NH_3, SO_2, Cl, S, etc.

6.2.1 - Fases
- ➚ Líquida: Vários componentes da natureza silicática;
- ➔ Gasosa: H_2O, CO_2, HCl, HF;
- ➘ Sólida: Silicática.

6.2.2 - Tipos de magma
- ➚ Riolíticos (SiO_2 > 66%);
- ➔ Andesíticos (SiO_2 entre 52 e 66%);
- ➘ Basálticos (SiO_2).

6.3 - Critérios de classificação das rochas:

Textura e composição mineralógica

6.3.1 - Modos de ocorrência na natureza.

6.3.2 - Texturas: relação (arranjo mútuo) e dimensão entre os minerais componentes.

a) Graus de cristalização:

Total ou hocristalina;

Parcial ou hipocristalina;

Não cristalizada ou vítrea.

b) Tamanho dos cristais:

Faneríticas ➔ finas médias e grossas (arenosas);

Afaníticas;

Porfiríticas.

c) Tamanho e relação dos cristais entre si:

Equigranulares;

Inequigranulares.

6.3.3 - Estruturas ➔ Aspectos megascópicos. Visto em grandes porções.

a) Vesiculares ou amigdalóides (às vezes só visíveis ao microscópio);

b) Em bloco e brechas de fluxo;

c) Fluidais – Estruturas *bandadas*;

d) Fraturações primárias – Originárias da solidificação.

6.3.4 - Composição mineralógica e química das rochas ígneas ➔ 2 parâmetros:

a) Composição mineralógica propriamente dita:

b) Quantidade de sílica (composição química):

I) Ácidas > 65% de SiO_2;

II) Intermediárias: 65-55% de SiO_2;

III) Básicas: 55-45% de SiO_2;

IV) Ultrabásicas < 45% de SiO_2.

Categorização de minerais:

Essenciais: Feldspato, Quartzo, Biotita;

Acessórios: Apatita, Magnetita, Rutilo, Turmalina etc.

6.4 - Principais rochas ígneas (do ponto de vista das rochas ornamentais)

- Granito
- Sienito

- Diorito
- Andesito
- Gabro
- Diabásio

7 - ROCHAS SEDIMENTARES

Conceito geral e definição.

Formação: Intemperização das rochas ➔ Formação dos solos ➔ Erosão e transporte de sedimentos (ação eólica e hidráulica principalmente) (Fig. 2) ➔ Rochas detríticas ou clásticas e rochas não detríticas.

7.1 - Constituintes	Minerais que resistiram à intemperização Minerais formados pela intemperização Produtos da precipitação química Produtos biogênicos

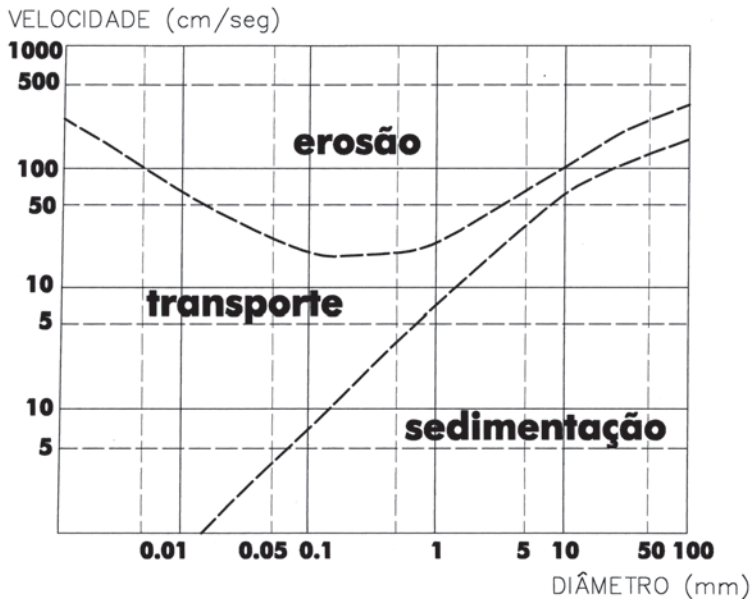



Fig. 2 – Transporte dos sedimentos

Formações detríticas mais grosseiras. Predomina o quartzo que não se altera, mas pode reduzir dimensão no transporte, também **feldspatos** (que se alteram em climas úmidos). Nas finas predominam **quartzo, micas e minerais de formação secundárias** da meteorização. Nas rochas químicas ou biogênicas o mais comum é a **calcita** ($CaCO_3$) e a **dolomita** $CaMg(CO_3)_2$. Outros: **Calcedônia** (variedade criptocristalina do quartzo) e **opala** (sílica hidratada amorfa), gesso, anidrita etc.

7.2 - Classificação - Difícil esquematizar satisfatoriamente ➔ variedade.

Rochas Sedimentares	**Detríticas**	**Arenáceas**	**Móveis** ⇨	**Calhaus, cascalhos, areia, silte.**
			Consolidadas ⇨	**Conglomerados, arenitos**
		Argiláceas	**Móveis** ⇨	**Argilas**
			Consolidadas ⇨	**Argilitos, Xistos argilosos**
	Química ou biológica	**Calcárias** ⇨		**Calcários conquíferos, oolíticos, pisolíticos, argilosos, ferruginosos, fétidos, glauconíticos, dolomíticos**
		Silicosas ⇨		**Sílex, jaspe, novaculite, geyseritos, trípoli,**
		Ferruginosas ⇨		**Minérios de ferro, couraças ferruginosas,**
		Carbonosas ⇨		**Carvões (turfa, lenhita, hulha e antracita)**
		Salinas ⇨		**Gesso e anidrita, Sal-gema, potássio,**

8 - ROCHAS METAMÓRFICAS - Conceito e definição

8.1 - Tipos de metamorfismo ➚ de contacto; ➔ regional; ➘ dinamometamorfismo e dinamotermal.

8.2 - Minerais componentes:

I – Minerais mais comuns	II – Minerais secundários
Quartzo	Granadas
Feldspatos	Estaurolita
Biotita	Epidoto
Moscovita e sericita	Zoisita
Anfibólio	Andaluzita
Calcita	Cianita
Clorita	Silimanita
Talco	Magnetita
Serpentina	Grafite
Dolomita	Turmalina
Piroxenos	Vesuvianita

8.3 - Textura ➔ Clivagem / Bandeamento / Xistosidade

- ➚ Clivagem
- ➔ Bandeamento
- ➘ Xistosidade

8.4 - Classificação

Rochas Metamórficas	**Foliadas ou Geralmente foliadas**	**Gnaisses** ⇨ Muito feldspato, quartzo, micas (biotita e moscovita) e hornblenda. Textura bandada.
		Leptinitos ⇨ Agregado fino de quartzo e feldspato.
		Micaxistos ⇨ Xistosidade acentuada. Folhas. Essencialmente de quartzo e mica.
		Anfibolitos ⇨ Interca, formação xisto-cristalina
		Anfiboloxistos ⇨ Anfibólio e quartzo.
		Cloritoxistos ⇨ Principal Clorita. Também sericita, albita, epidoto e actinolita. Verde a verde escuro.
		Talcoxistos ⇨ Essencialmente talco. Pode conter: magnetita, cromita, anfibólio. Transição p/ não xistosas: esteatito (pedra sabão) assossiado a clorita.
		Filitos ⇨ Grão fino. Quartzo, sericita e clorita.
		Ardósias ⇨ Moderada metamorfose. Fósseis.
	Não foliadas ou em geral não foliadas	**Quartzitos** ⇨ Grãos finos de quartzo.
		Mármores ⇨ rochas calco-silicosas.
		Serpentinitos ⇨ De rochas ígneas. Ricas em silicato de magnésio.
		Corneanas ⇨ Assemelham-se a basaltos.
		Milonitos ⇨ Grão finíssimo. Aspecto de silex.

9 - EXTRAÇÃO E TRABALHO DAS ROCHAS

9.1 - Extração primitiva na antiguidade e no presente: Uso de cunhas, alavancas, *pixotes*, cinzéis e outros instrumentos (bochardas, unhetas, raspadores, limas etc).

9.2 - Extração industrial ➔ Brocas diamantadas, martelos pneumáticos, explosivos e fios diamantados.

9.3 - Instrumental moderno ➔ brocas diamantadas, brocas de vidia, máquinas elétricas com discos diamantados, máquinas pneumáticas de perfurar, polir, entalhar e cortar, politrizes de alta rotação etc.

10 - LIMPEZA DA PEDRA

10.1 - Metodologia preliminar de indagação:

- Levantamento fotográfico;
- Pesquisa histórica dos tratamentos anteriores;
- Estudo petrográfico;
- Estudo químico da crosta e eflorescências;
- Amostragem ➔ Evitar danos.

Fragmento de 3x2x1cm para petrografia;
0.5 a 1g para difratometria e exame químico da crosta;
Manchas orgânicas ➔ Usar um emplastro;
Exame biológico ➔ Material esterelizado (bisturis, placas de Petri etc.);
Lâminas delgadas para microscopia ➔ Espessura entre 20 e 30μ.

10.2 - Análises

10.2.1 - Mineralogia petrográfica;
Microscópio petrográfico;
Microscópio eletrônico de sonda ou microssonda;
Difratometria de raios-X (Fig. 3).

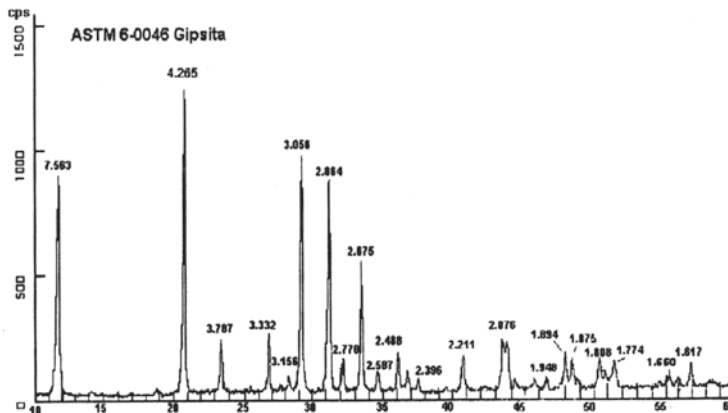



Fig. 3 – Difratograma (XRD)

10.2.2 - Química
Conhecimento do tipo de limpeza possível;
Análise mais apurada da crosta: Quando não se tem meios ➔ Conhecer ao menos o material de base (se é calcário ou silícico).

Produtos fundamentais necessários:

Difenilamina em solução de H_2SO_4 (1%);
HCl a 10% (≈ diluição 1:4 do concentrado);
HNO_3 a 10% (≈ diluição 1:6 do concentrado);
H_2SO_4 (concentrado a 96%);
$BaCl_2$ (solução a 5% m/v);
$AgNO_3$ (solução a 5% m/v);
$FeSO_4$ (sólido em cristais).

Exame de pedras: 2 gotas de HCl

a) Efervescência forte ➔ Carbonática

b) Efervescência fraca:
Calcário dolomítico;
Calcário marnoso ou margoso;
Arenito de cimentação calcária.

c) Sem efervescência ➔ Rochas silicáticas;
Granitos, andesitas, gnaisses etc.

Exames sumários de sais solúveis ➔ Pesquisa de íons:

- $SO_4^{=}$ ➔ HCl e $BaCl_2$
- Cl^- ➔ HNO_3 e $AgNO_3$
- NO_3^- ➔ $FeSO_4$ e H_2SO_4 ou reagente de difenilamina a 1% em H_2SO_4

10.2.3 - Biológica

Reconhecimento da flora | Microscópica
| Macroscópica

Bactérias, algas, líquens, ervas etc.;
Consultar os biólogos especialistas.

10.2.4 - Técnica

- Prova mecânica de superfície, especialmente DUREZA.
  Uso do esclerômetro de Martens. Modelo desenvolvido no NTPR (Fig. 4).
- Resistência ao uso/desgaste:
  Jateamento;
  Tribômetro de Amsler ➔ Corpos de prova de 7x7x5cm.
- Porosidade ➔ Porosímetro a gás e a mercúrio.

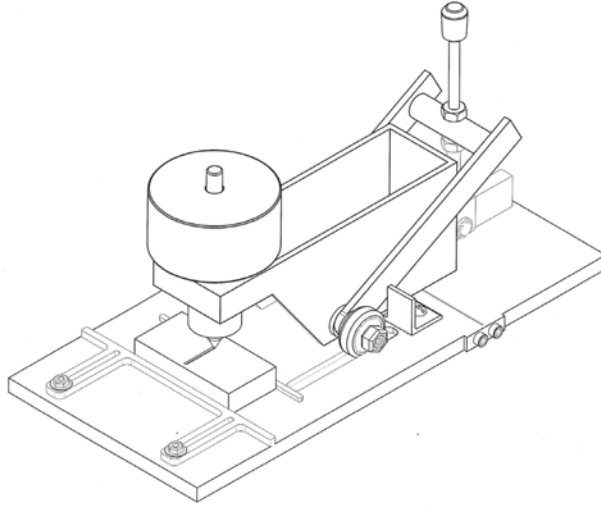



Fig. 4 – Projeto de esclerômetro de Martens desenvolvido no NTPR

10.3 - Edifícios sem grande valor artístico - Limpeza

10.3.1 - "Spray" de água a baixa pressão;
Água comum doce;
Água "dura" ➔ Calcários mais macios;
Pressão de 2.5 a 4atm;
Quantidade ➔ Menor possível ➔ Preferível nebulizar;
Operação de cima para baixo;
Processo permitido em edifícios importantes, mas em **bom estado de conservação**.

10.3.2 - Jateamento controlado (complemento para 10.3.1).

Tipo ➔ Seco
↘ Úmido

Diversos abrasivos: areia fina, Al_2O_3, microesferas de vidro etc.
Preferir as pequenas granulometrias e controlar a pressão ao mínimo necessário.
Massa específica aumenta impacto:

- Areia - 2.650Kg/m^3
- Olivina - 3.400Kg/m^3

Modernas jateadeiras hidropneumáticas ➔ Menos dano.

10.3.3 - Limpeza química

Poucos são os produtos seguros ➔ Sabão neutro (pH = 7).
Evitar qualquer ácido ➔ Excepcionalmente o HF a 5% em certas pedras.
Emplastros muito úteis, pois controlam penetração ➔ Limitar entretanto as aplicações.

Receita clássica:

Água...	1.000cc
E D T A (bissódico)................................	50g
Bicarbonato de sódio............................	30g
Carboximetilcelulose..............................	50g

Lavagem anterior adequada com sabão neutro e também posterior com escova de pêlo.

10.3.4 - Desaconselha-se

a) Água a alta pressão (60 a 120atm) ➔ Abrasiva;
b) Vapor saturado úmido ➔ Choque térmico;
Temperatura - 150-250°C
Pressão - 5 a 10atm
c) Jateamento não controlado ➔ Muito abrasivo;
d) Limpeza mecânica: marteletes, discos, lixas, escovas metálicas;
e) Ácidos, álcalis e detergentes;
f) Fogo.

10.4 - Limpeza de edifícios de grande valor

10.4.1 - Limpeza mecânica especial;

10.4.2 - Água nebulizada quase sem pressão;

10.4.3 - Ultra-som com água ➔ Muito lento, só para objetos;

10.4.4 - Microjateamento de precisão ➔ Excelente resultado;

Abrasivos mais usados	Esferas de vidro ± 40 mesh
	Al_2O_3 micronizado

Pressão obtida com	Azoto (nitrogênio)
	Ar comprimido filtrado

10.4.5 - Agentes químicos

a) Variedade de 10.3.3 conhecida como AB-57 “L.D.P.”

Água	1.000cc
Bicarbonato de Amônia (NH_4HCO_3	30g
Bicarbonato de Sódio ($NaHCO_3$)	50g
E D T A (bissódico)	25g
Carboximetilcelulose	60g
Desogen (opcional) - biocida da Ciba-Geigy	10g

Ajuntar eventualmente e moderadamente:

- Amoníaco - NH_4OH;
- Trietanolamina - $C_6H_{15}NO_3$;
- Solventes de gorduras;

Lavar abundantemente e proteger na aplicação com papel absorvente.

b) Argilas especiais absorventes:

Bentonitas (+ alto CTC);

Experiências do NTPR ➔ Congresso de Bressanone, It.

BENT. + EDTA + $NaHCO_3$ + CH_3COOH (5ml)	
Bentonita	123,91g
$NaHCO_3$	10,00g
CH_3COOH	5,0ml
EDTA	12,50g
pH = 7,47	

Sepiolitas e atapulgitas;

Operação prévia ➔ Desengorduramento;

Solventes: acetona ou cloreto de metila

Aplicação: camadas de 2 a 3cm ➔ Proteger com lâmina ou plástico;

c) Emplastro biológico ➔ Base de argila especial (b)

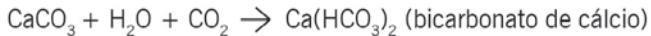
Água destilada...	1.000cc
Uréia - $(NH_2)_2CO$..	50g
Glicerina - $(CH_2OH)_2$ CHOH................................	20g

10.4.6 - Radiação LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)

Lento, mas muito preciso ➔ Só para pedras brancas;
Os modernos equipamentos.

10.4.7 - Outras limpezas

I) Incrustações calcárias:

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2 \text{ (bicarbonato de cálcio)}$$

Usar "águas duras";
Métodos antigos ➔ Ácidos fortes. Ex.: HCl;
Hoje ➔ Resinas especiais (permutadoras de íons).

II) Manchas de ferrugem:

Conhecer bem o tipo de base lítica.

- Base silicosa ➔ Ácido fosfórico, fluoretos e citratos;
- Base calcária ➔ Muito mais difícil e perigosa a remoção;
  Solução saturada de fosfato de amônia - $(NH_4)_3PO_4$;
- Juntar ácido fosfórico até pH = 6 ou elevar o pH a 7 através do NH_4OH;
- Limpar previamente as gorduras;
- Trabalhar com o sistema de emplastros.

III) Mancha de sais de cobre

Usar emplastros com:
a) E D T A a 10% em água;
b) Carbonato de amônia $(NH_4)_2CO_3$ a 20% em água;

11 - CONSOLIDAÇÃO DA PEDRA DEGRADADA

11.1 - Tratamentos antigos

Protetivos e consolidantes ➔ Óleos e ceras;
Parafina ➔ Efeitos nocivos no mural de Abydos (Museu Metropolitano);
Silicatos ➔ Alguns com efeitos danosos no tempo;
Cimentos ➔ Danos verificados.

11.2 - Tratamentos modernos inorgânicos

Baseados em experiências antigas (Viollet-le-Duc);
Trabalhos de Lewin e Charola com o $Ba(OH)_2$, modernizados com uso de uréia e $Ca(OH)_2$;
Silicato de etila ou silicato de tetraetila (TEOS, ou tetra-etoxi-silano);
Orgânico ou inorgânico? ➔ Consolidante OH da Wacker.

11.3 - Tratamentos modernos orgânicos ➔ Resinas e silanos

Proteção e consolidação.

11.3.1 - Resinas de poliéster
Vantagens e desvantagens.

11.3.2 - Resinas acrílicas
Base do metacrilato de metila;
Resinas pré-polimerizadas ➔ Polimetacrilato de metila;
Paralóides: Vedacil-Max da Vedacit, B-66 da Rohm & Haas;
Primal ➔ Suspensão acrílica;
Sistema de aplicação sob vácuo;
Misturas em produtos comerciais: B-72 + *dry-film.*

11.3.3 - Resinas epóxi ➔ Grande resistência mecânica, excelente capacidade colante.
Variedades: Otto Baumagten (Vedacit do Nordeste), Ciba-Geigy, Sika, Dow, Fosroc, etc.
As variedades resistentes à radiação U.V.
As novas resinas ciclo-alifáticas.

11.3.4 - Resinas vinílicas

Larga aplicação, fácil emprego;

PVAC (acetato de polivinila);

PVAL (álcool de polivinila);

Bom exemplo: os Mowilith da HOECHST.

11.3.5 - Resinas silicônicas e silânicas

Hidrorrepelentes e consolidantes ➔ Grandes possibilidades.

12 - REINTEGRAÇÕES

12.1 - Reintegração com argamassas

Uso inadequado dos cimentos;

Emprego com argamassas poliméricas – Experimentações do NTPR.

12.2 - Próteses

Caso do uso de pinos de metal e de resina e fibra de vidro ou simples colagem;

Marcação de furação e cuidados;

Colagem e os cuidados;

Evitar desenho regular dos recortes, acompanhar a ruptura.

VI. METAIS

***A contatto con sterco d'uccello, il piombo si deteriora. Quindi occorre evitare di offrire ai volatili luoghi ove possano appolaiarsi comodamente.* ALBERTI [6].**

1 - ACENOS HISTÓRICOS

- Tubalcain (Genesis IV, 22);

- Fogo e fornos ➔ Fundição de metais - moldes de pedras ou argila;

- Desde o IV milênio antes de Cristo até o Século XIX só eram conhecidos praticamente sete metais: ouro, prata, cobre, chumbo, estanho, zinco e ferro;

- Romanos ➔ Armaduras e ferramentas de ferro e bronze; vasos e ornamentos de cobre; canos d'água; caixões mortuários de chumbo; ornamentos de estanho, ouro e prata; moedas de prata, latão e bronze;

- Ouro e prata ➔ Metais nobres. Maior exposição à atmosfera sem alteração. Fundidos um maior número de vezes sem muita perda de peso;

- Alquimistas ➔ Busca da "purificação" de metais, transformando os metais de base em metais nobres;

- Entre a Idade Média e o início da era industrial ➔ Construção de fornos maiores e mais eficientes para produzir metais em maior quantidade; Crônica da Abadia de Clairvaux fala de martelos hidráulicos para forjar o ferro;

- Roussou, J.J. – Perplexidade diante da fundição do ferro pelos homens. Modelo do vulcão? O pai da fundição dos metais seria o ceramista. A passagem do bronze para o ferro acontece, possivelmente, ao sul do Cáucaso;

- Séc. XIX ➔ Uso de metais em pontes, ferrovias, navios, armas, veículos, implementos de todos os tipos etc. O trabalho em metais deixa de ser considerado como “arte” e passa a ser considerado como “ciência” (metalurgia);

  1861 - Prof. Henry C. Solby (Sheffield) ➔ Exame microscópico sistemático conduziu à **metalografia**. Estudo e conhecimento das propriedades dos metais e ligas: ponto de fusão, resistência, dureza, propriedades elétricas etc.;

  Descoberta do alumínio e ligas de outros metais (níquel, ligas de aço etc.).

- Séc. XX ➔ Grande produção. Metal presente (ou utilizado) em grande parte dos objetos do nosso cotidiano;

  Grande variedade de metais e ligas, que são destinados a fins diversos.

2 - METALOGRAFIA A SERVIÇO DA CONSERVAÇÃO

- Metalografia = Do grego, *descrição dos metais*.
  Fundamental na identificação e diagnóstico.
  Estuda a estrutura cristalina dos metais e ligas, alterações estruturais e fenômenos corrosivos.
  Primeiros estudos sistemáticos no Século XIX: Sorbey e Austen (Inglaterra), Martens (Alemanha) e Osmod (França). Antecedentes ➔ Universidade de Göttingen no Séc. XVII.

- Técnicas metalográficas:
  Metalografia ótica ➔ metalografia eletrônica ➔ metalografia de varredura MEV (*SEM*).
  Emprego de reativos: de contraste, de seleção e de granulação.

2.1- Estrutura cristalina dos metais (Fig. 1)

Repetição de células elementares ➔ Tamanho das faces da célula depende do tipo de metal ➔ Três tipos básicos:

❶ Cúbica com face centrada;
❷ Cúbica com corpo centrado;
❸ Exagonal.

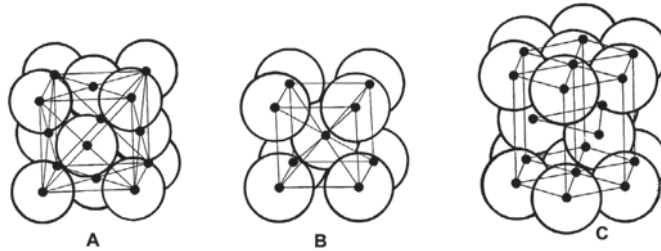



Fig. 1 – Modelo de células elementares dos metais: (A) Cúbica de face centrada, (B) cúbica de corpo centrado e (C) exagonal. São os elementos básicos dos retículos.

2.2 - Ligas

Associação de dois ou mais metais;

Metal (a) + metal (b)... ou metelóide;

- Primeira liga ➔ bronze (1:10; estanho, cobre), provavelmente. Quanto maior a percentagem de estanho, mais resistente. Quanto menor, mais rico o metal ➔ Produção deliberada de bronzes de diferentes tipos para atender necessidades diferentes.

- Aço ➔ metal ferro + metalóide carbono.

3 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A DEGRADAÇÃO DOS METAIS

3.1 - O processo da corrosão (Fig. 2)

Causas eletroquímicas são fundamentais:

- Reação química do metal com o oxigênio (O_2) ou outros elementos, como o ozônio (O_3);

- Exposto às condições atmosféricas (constante contato com água; altos índices de umidade, calor etc.), o metal puro tende a voltar ao estado natural (minério).

CORROSÃO → Reação química de um metal com o oxigênio ou outro elemento ou substância

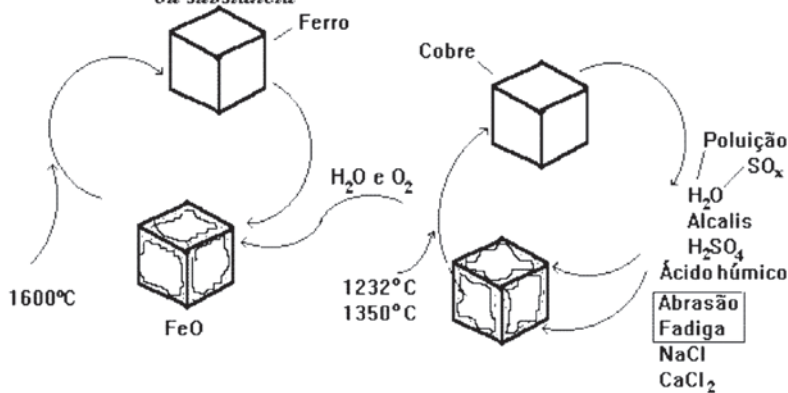



Fig. 2

3.2 - Terminologia específica da corrosão

- Ataque uniforme ➔ Corrosão ocorre basicamente nos locais expostos aos agentes agressivos;

- Ataque seletivo (ou corrosão seletiva) ➔ Quando o metal ou liga não é homogêneo, certas partes são mais atacadas que outras;

- Corrosão alveolar (*pitting*) ➔ Freqüentemente envolve reações eletroquímicas e ataque (ou corrosão) seletivo;

- Corrosão galvânica ➔ Ação eletroquímica entre dois metais diferentes em contato por via direta ou por via eletrolítica, de modo a ocorrer um fluxo de elétrons entre o par formado. Só irá ocorrer quando:
  a) Os dois metais apresentarem diferença de potencial e não polarizarem rapidamente;
  b) Existir o contato de modo a permitir o fluxo de elétrons;
  c) Existir um eletrodo que possibilite a formação de uma solução iônica e os íons migrem de um metal para outro;
  d) Se a área do metal mais **nobre** for muito grande comparada com o metal **de base**, a corrosão será mais severa. Ex.: folhas de cobre presas com parafusos de ferro;

- Erosão ➔ Desgaste de camadas superficiais por atrito, ação de animais e do homem, expondo metal "novo" à corrosão;

- Fratura devido ao *stress* da corrosão *(stress corrosion cracking)* ➔ Ocorre em locais submetidos a fadiga, por dobras, pressão ou outras formas de trabalho, devido freqüentemente a defeitos na maneira de fabricação, sendo, posteriormente, expostos à ação do meio ambiente de ação corrosiva. Exemplos:
  a) Latão fundido + amônia
  b) Aço inoxidável + cloretos
  c) Aços de carbono + nitratos, cianetos ou álcalis fortes.

3.3 - Fatores que influenciam no processo da corrosão

a) Série galvânica ➔ Se metais diferentes entrarem em contato, o metal mais próximo da extremidade esquerda da **série eletromotiva** (galvânica) agirá como ânodo e será consumido por corrosão (Fig. 3).

Ca	Mg	Al	Zn	Fe	Sn	Pb	H	Ni	Cu	Ag	Ar	Pt	Au
-2.50v	-1.55v	-1.34v	-0.76v	-0.44v	-0.17v	-0.13v	0v	+0.20	+0.34	+0.50	+0.80	+0.86	+1.30

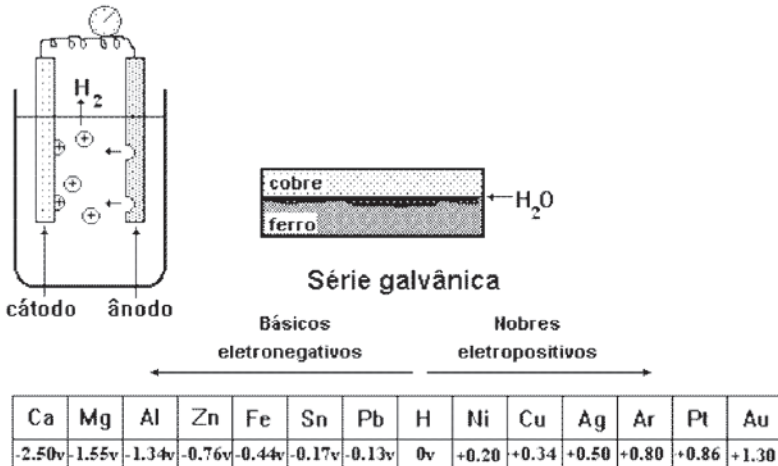



Fig. 3 – Princípio da corrosão galvânica e série galvânica

- A corrente flui do metal nobre para o de base. Ex.: cobre para zinco;
- O metal mais próximo da extremidade direita da série funcionará como cátodo e será protegido;
- O metal do ânodo pode ser usado para revestir o metal do cátodo. A perda de íons positivos do ânodo significa que o metal fica levemente eletronegativo. O metal mais **nobre** apresenta menor tendência à ionização (perda de íons).

b) Heterogeneidade das ligas e metais
Geram diferentes produtos de corrosão ➔ Colcha de retalhos;
c) Presença de íons ➔ Cl^-, $SO_4^=$, NO_x aceleram o processo de oxidação;
d) Tempo de umedecimento ➔ Quanto maior tempo, pior.
Exemplo: marcação nítida ➔ Esculturas em bronze existentes em uma fonte (Canadá), que apresentavam uma linha nítida ao nível da água (trecho onde ocorria a evaporação).

4 - INDÍCIOS DE CORROSÃO

- Mudança de cor ➔ Cores específicas para produtos de corrosão específicos; Ex.: bronze ➔ Belo azul real (sulfato de cobre); vermelho (hematita) etc.;
- Mudança de textura ➔ Depósitos de corrosão, eventualmente com aumento de volume. Conseqüência: formação de pós ou de crostas (somente removíveis com um martelo de ponta) e escamações que se destacam;
- Aparecimento de pequenos orifícios;
- Aparecimento de gotículas de líquido (exsudação). Exemplo: aço e ferro retirados de escavações arqueológicas e expostos em museus;
- Manchas do tipo “colcha de retalhos”;
- “Caminhos de rato” (corrosão filiforme).

5 - PERIGOS POTENCIAIS

5.1 - Condensação

Na ausência de água não ocorre corrosão. Nos museus freqüentemente ocorre **condensação**, daí a necessidade de muitos cuidados na conservação das coleções, especialmente armaduras.

5.2 - Gotejamento

Causa manchas (especialmente em pedras);
Corrosão galvânica (se existir metal sob a argamassa).

5.3 - Ataque por parte de argamassas (substâncias alcalinas)

Fissuração ou destruição do reboco;
Manchas nas superfícies das pedras.

5.4 - Fadiga

Metais sob trabalho "cansam" com o tempo ➔ Usar metais de "sacrifício".
Ex.: cabos de pontes, rodas de trem ➔ Sempre substituídos.

5.5 - Ataque biológico

Bactérias oxidantes; agressão de animais.
Ex.: pombos ➔ Arranham metais moles e têm dejetos corrosivos (Alberti).

5.6 - Mau uso e vandalismo

- Destruição de detalhes elaborados em metais de pouca dureza (polimento excessivo ou inadequado);
- Quebra das peças;
- Gordura e acidez das mãos;
- Limpeza inadequada. Ex.: palha de aço, produtos químicos inadequados etc.;
- Erro de projeto: cálculo e especificação ➔ Vários tipos de metais ➔ diferentes coeficientes de dilatação; diferentes produtos de corrosão;
- Má execução ➔ Juntas de balaustrada ➔ Usar chumbo derretido para selar, como na Idade Média.

6 - TESTES PARA A IDENTIFICAÇÃO QUALITATIVA DOS METAIS

6.1 - Testes químicos

1) Ferro

- Passar o objeto metálico a identificar contra a superfície rugosa de uma placa de testes de porcelana. Preparar, em uma extremidade da mesma placa, o "branco" (1 gota de HNO_3 + 1 gota de ferrocianeto de potássio). Colocar 1 gota de HNO_3 no meio do risco feito com o metal. A seguir, acrescentar uma gota de ferrocianeto. Se ficar azul, há ferro;
  Obs.: não abrir o frasco do HNO_3 com a mão para não contaminar o produto. Usar um lenço de papel.

- HNO_3 + tiocianato de potássio ➔ Prepara-se o "branco" e colocam-se gotas dos dois produtos sobre o metal (ou risco feito com o metal) a ser identificado. Na presença de ferro, ficará marrom.

2) Chumbo

Em uma placa de toque, preparar o "branco" usando 1 gota de HNO_3 e alguns cristais de KI. Colocar uma gota do ácido nítrico no metal, ou na placa de testes (se esta tiver sido utilizada), esperando algum tempo de modo que se processe a oxidação. Acrescentar alguns cristais de KI. Se houver chumbo, haverá formação de um precipitado amarelo.

3) Cobre

HNO_3 + amônia 3M ➔ Azul

Colocar hidróxido de amônia em um pedaço de metal oxidado. Se ficar azul, tem cobre.

6.2 - Testes físicos e visuais

- Estátua de metal branco, com os braços abertos ➔ Não deve ser de chumbo, pois os braços penderiam com o tempo;
- Chumbo ➔ Pode ser arranhado com a unha;
- Zinco ➔ Pode ser arranhado com um canivete;
- Usar ímã para detectar ferro ou aço (como existe um determinado tipo de aço que não é magnético, devem ser realizados outros tipos de testes antes de eliminar a possibilidade do metal ser aço);
- Coloração e tipo do produto da corrosão.

7 - ESPECIFICIDADES DE CERTOS METAIS

7.1 - Ferro

7.1.1 - Características gerais

- Liga mais comum ➔ Aço: liga de Fe e C + P, S, O, Mn, Ni, Si, Al, Cu, Ti, Mb ou, às vezes, Cr (quando presente, dá melhor proteção à corrosão);
- Duro, dúctil, maleável, magnético (se puro);
- Coloração normal: cinza esbranquiçado;
- Tipos: fundido e forjado (o ferro fundido é mais resistente à corrosão do que o ferro forjado, porém menos resistente à tensão do que aquele, especialmente no que diz respeito à flexão);

- Uso: colunas, vigas, tesouras (barras tracionadas = ferro forjado; barras comprimidas = ferro fundido, escadas, tumbas, elementos decorativos, coberturas, sacadas, pontes, construções inteiras (ex.: faróis). Catálogos (séc. XIX). Hoje, peças de reforço (ex.: Catedral de Arezzo).

7.1.2 - Aspectos ligados à conservação/restauração

Corrosão ➔ Ferrugem: termo usado apenas para Fe ou ligas de Fe.

- Início ➔ 65% U.R.;
- Agravantes: água do mar, chuva ácida, aerossóis salinos, ácidos, solos, argamassa de gesso, cimento, cinza, *clinkers*, compostos de enxofre (quase todos);
- Corrosão galvânica em presença de H_2O + cuproníquel, bronzes de alumínio, metal de armas, cobre, latão, chumbo, cromo e aço com solda branda (de estanho);
- Ferro fundido pode sofrer grafitização (corrosão) ➔ Perlita - carboneto de ferro desaparece. Tudo que sobra é carbono. O metal fica cada vez mais preto, transformando-se em uma massa esponjosa;
- Deterioração: falhas de fundição ➔ Presença de bolhas, poros abertos, fissuras, cinzas, pedaços de escória;
- Água clorada ➔ Causa bolhas (corrosão) no ferro fundido;
- Ferro fundido tende a ser bastante instável, se removido de dentro da água do mar. Em zonas de clima frio, o congelamento pode causar a fissuração de tubos na parte posterior.

7.1.3 - Conversão e remoção da ferrugem

1) Conversão (converte o produto instável da ferrugem em estável):

- Ácido tânico = H_3PO_4 + umectante ➔ Ex.: *Fertan* (provavelmente o único exemplo deste tipo). Usado para pintar o submarino Holland após o mesmo ter sido removido do mar e levado a um museu. Baixa toxicidade; não inflamável; pode ser estocado por muito tempo, mesmo depois de aberto; relativamente barato (EEUU);
- H_3PO_4 + umectante + resina sintética ➔ Ex.: *Neutrarust* (copolímero vinil-acrílico), *Tannate 2000, Tannate 3000*. Mais caros que os precedentes; inflamáveis; não podem ser estocados por muito tempo fechados; não podem ser guardados depois de abertos; camada mais impermeável graças à resina;

- Silicatos alcalinos ➔ Convertem $Fe_2O_{3\text{-}4}$ em silicato de ferro e goetita (produto estável da ferrugem). Podem restabelecer a alcalinidade do concreto, evitando a corrosão das barras de aço;
- Compostos desenvolvidos na COPPE (Rio de Janeiro/Brasil).

2) Remoção química

- H_3PO_4 ➔ Dissolve a ferrugem;
- H_2SO_4 ➔ O metal deve ser mergulhado em ácido sulfúrico quente e secado com calor, imediatamente;
- Soluções comerciais para remoção de ferrugem;

3) Remoção física por abrasão

- Jateamento (areia, pedregulho, escória, granalha, esferas de vidro, óxido de alumínio etc.);
- Escova rotativa;
- Pistola de agulhas;
- Maçarico de oxi-propano;
- Jato de areia em ferro fundido ➔ Só em peças não muito finas. **Protegê-lo imediatamente** para evitar reinício do processo de corrosão.

7.1.4 - Repertório de utilização na construção do passado

- Cravos e pregos; Processos de fabricação;
- Parafusos;
- Pinos, chavetas, agrafes para travar pedras;
- Cintas de cúpulas;
- Tirantes para arcos e contraventamento de paredes;
- Ferragens de portas, janelas e outras envasaduras (gonzos, aldravas, trancas, ferrolhos, fechaduras, cadeados, cremonas, etc (Fig. 4);
- Grades de segurança e/ou decorativas: entre umbrais, projetadas, ajoelhadas, com corcova, etc;
- Revestimento (“chapeamento” de portas com bronze, latão, ferro);
- Gradis;
- Escadas de ferro e outros elementos de arquitetura pré-fabricados, principalmente no período do ecletismo;
- Grelhas de ferro fundido e forjado.

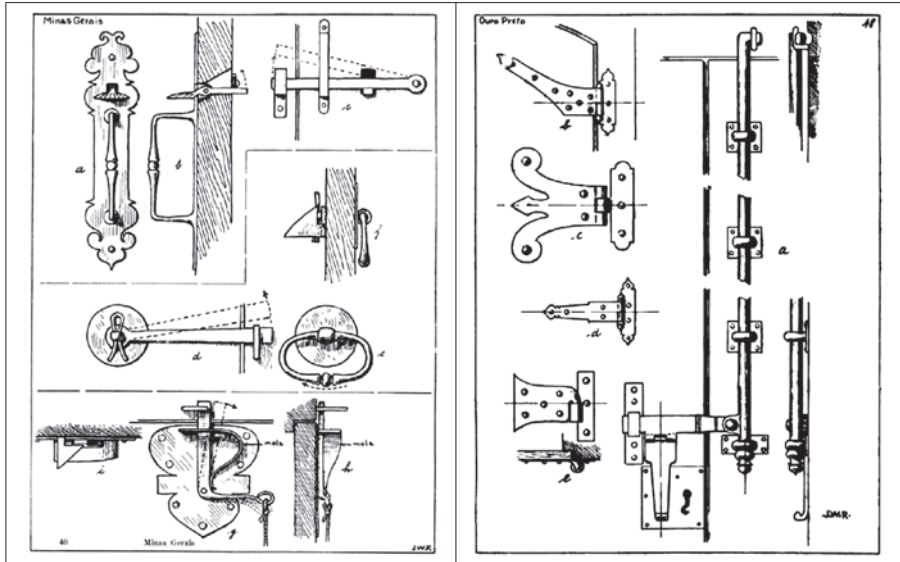



Fig. 4 – Ferragens de esquadrias documentadas por J. W. Rodrigues

7.2 - Cobre e ligas

Este metal (e suas ligas) é, possivelmente, um dos mais importantes na conservação e na restauração.

7.2.1 - Características gerais:

- Extremamente dúctil. Se tracionado, endurece e quebra. Não magnético. Resistente à corrosão. Alta condutibilidade térmica/ elétrica. Existe em abundância;
- Coloração normal: marrom-avermelhado brilhante;
- Ponto de fusão: 1232°C;
- Reage em diferentes ambientes ➔ Produtos de corrosão diferentes:
  1. Óxido de cobre ➔ Marrom;
  2. Sulfeto de cobre ➔ Preto;
  3. Sulfato de cobre ➔ Verde, azul;
  4. Cloreto de cobre ➔ Verde muito pálido ou branco;

- Macio e sujeito a “sofrer”, se manuseado. Facilmente arranhável (ex.: pombos);
- Perigos: chuva ácida (remove componentes carbonáticos da pátina, transformando-a em uma esponja); compostos de amônia; sulfatos e cloretos;

ácidos orgânicos de algas, líquens e musgos; madeira nova; excrementos de pombos; substâncias alcalinas; contacto com betume;

- Se existirem áreas de corrosão negra próximas a áreas de corrosão verde ➔ Procurar pequenos orifícios na área verde. Em alguns casos, há orifícios devido à ação de cloreto embaixo da camada preta;
- Corrosão severa usualmente associada com:

  1. Poluição atmosférica elevada decorrente de produtos da combustão;
  2. Detalhes construtivos ruins ou defeitos de construção;
  3. Gotejamento por erosão ou abrasão constante;
  4. Combinação de fadiga/corrosão. Cobre endurece e fica quebradiço com vibração e trabalho constantes devido a dimensões exageradas ou detalhes de fixação errados.

Subprodutos do ataque do cobre:
Cuprita ➔ Óxido de cobre de cor vermelho-alaranjado;
Malaquita ➔ carbonato de cobre verde escuro;
Azurita ➔ Variante do carbonato de cobre, menos hidratado de cor azul intensa;
Atacamita ➔ Cloreto de cobre solúvel de cor verde;
Nantoquita ➔ Cloreto de cobre pouco solúvel de cor verde-amarelado;
Brochantita ➔ Sulfato de cobre de cor verde-claro que se origina, em geral, da poluição;
Calcosita e covelita ➔ Sulfetos de cobre de cor escura, em geral produzidos por bactérias sulfúricas.

- Ligas principais: latão e bronze
  1. Latão ➔ Qualquer liga de cobre e zinco;
  2. Bronze verdadeiro ➔ Liga de cobre (ca. 90%) e estanho (ca. 10%);
  3. Bronze para estátuas ➔ Cobre (97%) + estanho (2%) + zinco (1%);
  4. Bronze usado em peças de arquitetura (latão chumbado) ➔ Cobre (57%) + zinco (40%) + chumbo (3%). Pouca resistência à compressão; boa resistência à corrosão; facilmente fundido e trabalhado.

7.2.2 - Proteção contra a corrosão

Laca:

- Ex.: Incralac (muito usado desde a década de 60, com bons resultados; reversível) = Metacrilato de metila. Brilhante. Usar cera de polietileno em dispersão para evitar o brilho + benzotriazol (inibidor da corrosão), ou cera

microcristalina. Duração: 5 anos ou mais. Repetir quando necessário;

- Problemas: dificuldade de aplicação sem gotejamento (se ocorrer, remover tudo e reaplicar); facilmente arranhável, o que gera danos severos localizados. Sugere-se aplicar uma camada de proteção com cera, o que aumenta o custo inicial, porém o reduz, ao longo do tempo;
- Atenção: não usar epóxi ➔ Irreversível e, algumas vezes, instável, causando mudanças de cor;
- **Cera microcristalina** com ponto de fusão relativamente alto + cera de **carnaúba** (*Copernicia cerifera*)+ pigmentos estáveis;
- É melhor do que tentar conseguir uma pátina química (bastante cara, além de poder ser danosa à superfície);
- Excelente protetivo. Aplicar no metal quente (usar I.V., por exemplo, e aplicar 2 ou 3 camadas com pincéis, para não ferir o metal); Limpar com tecido macio. Reaplicar periodicamente (3, 6 ou 12 meses) ➔ Se, jogando-se água destilada, houver formação de gotículas na superfície, a proteção ainda está boa.

7.2.3 - Limpeza

- Água destilada + detergente neutro. Em certos casos, um solvente orgânico é necessário para remover uma antiga camada de proteção;
- Não usar ácido ➔ Manchas. Pode ser comprovado seu uso anterior através da análise do sal encontrado. Se a quantidade de sal for exagerada, a origem só pode ter sido o uso indevido de ácido;
- Não usar palha de aço ➔ Pode causar manchas e arranhões circulares (fácil identificação). Pode-se usar palha de bronze;
- Jateamento com microesferas de vidro, cascas de nozes ou técnicas de limpeza de Weil, Veloz e Chise (para remover crostas em estátuas);
- Pó de pedra-pome em óleo mineral;
- Emplastros especiais;
- Limpeza química ➔ Pode ser feita pontualmente.

  a) Fórmula de ORGAN (1976):

  6ml ácido ortofosfórico a 85% + 2g de nitrito de sódio
  Completar com água destilada até atingir 100ml;

  b) 5-15g hexametafosfato de sódio:

  Completar com água destilada até atingir 100ml (pode-se usar água quente para aumentar a velocidade da reação).

7.3 - Estanho

7.3.1 - Características gerais

- Macio, dúctil, maleável. Bastante resistente à corrosão;
- Coloração normal: branco azulado;
- Ponto de fusão: 215°C.

7.3.2 - Aspectos ligados à degradação/conservação e limpeza

- Perigos: em presença de oxigênio e umidade por longo tempo a temperaturas moderadas, deteriora por desintegração e queda (pó cinza) ➔ “Peste” ou “praga” do estanho; soluções de ácidos e álcalis fortes, especialmente HCl, H_2SO_4, ácidos fórmico e acético. Se o estanho for impuro, o ataque será mais forte;
- Em ambientes com U.R. > 50% adquire camada protetiva fina de óxido de estanho. Se esta película torna-se muito espessa, fica porosa e acumula íons Cl^-, $SO_4^=$ e NO_3^-, o que destrói o seu efeito passivo ➔ O óxido estânico forma-se em camadas quebradiças e começa a cair;
- Corrosão: capeamento de estanho sofre corrosão, especialmente nas proximidades ou em pontos danificados. Ex.: aço revestido com estanho ➔ No local danificado, o aço age como ânodo e o estanho como cátodo. Bastante severa em ambientes marinhos, proximidades de cobre, asfalto e materiais betuminosos, tinta contendo alumínio, ácidos orgânicos. Quantidades > 0,1% de Al ou Mg no estanho podem levar ao ataque por endurecimento na água;
- Conservação: usar abrasivos suaves ➔ Organ (1976) sugere trípole em óleo mineral leve. Manter artefatos secos (U.R.< 20%). Corrosão grave por escamação eletroquímica em álcali fraco;
- 12,4g bicarbonato de sódio em 100ml de água (ORGAN - 1976);
- Elementos arquitetônicos revestidos com estanho ➔ Limpar com abrasivos suaves (ex.: cascas de nozes a baixa pressão - 30psi/206KPa) e recapear. Assegurar-se da remoção completa de toda a pintura velha, asfalto, selantes e outras camadas por ventura existentes. Limpar e re-soldar usando 50% de chumbo fundido e 50% de estanho com breu.

7.4 - Chumbo

Foi usado, no passado, como substitutivo parcial do estanho na liga do bronze. Consegue abaixar o ponto de fusão da liga. Os romanos empregavam até 23%.

7.4.1 - Características gerais

- Maleável, macio (arranhável com a unha), dúctil, pesado. Sofre de deformação lenta, fadiga e abrasão. Bastante resistente à corrosão;
- Coloração normal: cinza azulado;
- Ponto de fusão: 316°C;
- Manufaturado em folhas, tubos, moído, blocos fundidos etc.;
- Também usado com estanho em folha de flandres ➔ Chumbo estanhado (75 a 90% chumbo + 25 a 10% estanho) revestindo folhas de aço ou ferro. Revestimento de folhas de cobre para prevenir formação de produtos verdes da corrosão e conseqüentes manchas.

7.4.2 - Aspectos ligados à degradação/conservação

- Perigos: álcalis presentes em argamassa, cimento, hidróxidos de sódio e potássio usados em produtos para a limpeza da alvenaria, cloretos, alguns ácidos orgânicos ou não: ácido tânico (madeira); ácido húmico (vegetais em decomposição e certos solos úmidos); ácido acético (fumaça de fábricas de vinagre, cervejarias e de conservas); HCl, HF, HNO_3, HCO_3 (CO_2 dissolvido no solo ou condensação); ácido fórmico, argila úmida e cinzas (cemitérios);
- Produtos da corrosão: carbonato básico de chumbo, carbonato de chumbo (cerusita), sulfato de chumbo (brancos-anglesita); óxido de chumbo (vermelho amarelado-litargírio);
- Corrosão em chumbo contendo impurezas. Ex.: cloro, enxofre, sílica, atmosfera poluída, chuva ácida ➔ Oxidação progressiva do metal seguida por hidratação e carbonatação dos produtos da oxidação. Chumbo fica cada vez mais fraco com o acúmulo do pó branco.
- Conservação:
  a) ORGAN (1976)
  Imersão a frio em solução de Versene (Dow), Sequestrene NA4 (Geigy) ou EDTA, sal dissódico;
  b) *Ácido versênico*
  50g de Versene em pó por litro. Mergulhar até ficar limpo. Enxaguar diversas vezes em água de torneira. Secar ao ar livre;

- Objetos mineralizados podem ser reconvertidos a metal usando reduções consolidativas;
- Se o chumbo estiver partido, fatigado, poroso ou quebradiço, deve ser removido, refundido, reformado ou substituído. É sempre reaproveitado de alguma maneira;
- Reparos e próteses devem ser feitos por queima com chama de hidrogênio, não com solda;
- Usar pregos de cobre para fixação. Não usar chapas maiores do que $2{,}23m^2$.

7.5 - Zinco

7.5.1 - Características gerais:

- Coloração normal: branco azulado;
- Ponto de fusão: 393°C;
- Dureza média. Quebradiço. Baixa resistência. Sujeito a deformação lenta. Usado para proteger ferro e aço. Às vezes fundido como zinco puro para ornamentos e estatuária. A pureza está diretamente ligada à resistência à corrosão.

7.5.2 - Aspectos ligados à degradação/conservação:

- Perigos: atacado por álcalis e ácidos, poluição atmosférica ($SO_2^{=}$, H_2S), alguns ácidos de madeiras, argamassa, cimento (especialmente Portland), sulfatos, cloretos, chuva ácida, líquens, musgos;
- Corrosão galvânica com cobre e ferro puro;
  Ambiente instável ➔ Crosta de carbonato de zinco, queda de flocos;
- “Ferrugem branca” = Hidróxido de zinco (formado em ambiente quente e úmido, na ausência de oxigênio e CO_2).

7.5.3 - Reparos e preservação

- Solda em elementos arquitetônicos: estanho (50-60%) + chumbo (50-40%). Não deve conter antimônio. Usar lavagem de HCl, enxaguando bem para evitar problemas futuros;

- Proteger com pinturas do contacto com madeiras ➔ Ex.: à base de betume;
- Evitar contacto com cobre, estanho ou níquel sob água, isto é, evitar expor soldas com estanho em zinco em ambiente úmido na ausência de oxigênio;
- Camadas cromadas ou gordurosas para prevenir formação de "ferrugem branca". Tendo de repintar, remover camadas anteriores.
  Objetos pequenos ➔ Remover do local e regalvanizar.

7.5.4 - Douramento

Folha de ouro afixada com cola semelhante ao douramento da madeira
Amálgama de Au e Hg. Técnica perigosa de ser operada.

VII. MADEIRAS

Bisogna che i padroni, che vogliono fabricare; s'informino bene da i periti, della natura de i legnami, e qual legno à qual cosa è buono, e quale non. Vitruvio al detto luogo ne dà buona instruttione, & altri dotti huomini, che ne han scritto copiosamente. **PALLADIO**[7]

1 - HISTÓRICO

- Mais antigo material junto à argila;
- Durante muito tempo, o material elástico que substituiu o aço;
- Foi usado como material dominante em certas arquiteturas ➔ Japão, Noruega, Finlândia;
- Grande qualidade plástica ➔ Forma - Cor - Textura;
- Excelentes qualidades para conforto ambiental ➔ Isolamento térmico:

$$R=0{,}11\text{-}0{,}19 kcal/m.h.^{o}C \text{ ou } 0{,}13\text{-}0{,}22 W/m.^{o}C$$

- Sentido atávico do homem à madeira ➔ Vegetais e árvores de seus primitivos abrigos;
- Valor místico | Árvores sagradas;
  Templos de madeira (por ser material sagrado);

- Madeira e conservação ➔ Facilidades de restauração e reintegração.

2 - VANTAGENS

2.1 - Grande quantidade

- Preço relativamente baixo;
- Fonte renovável ➔ Se explorada racionalmente.

2.2 - Versatilidade

Faz desde peças delicadas a grandes estruturas.

2.3 - Trabalhada com facilidade
Pode ser reempregada.

2.4 - Primeiro material que resistiu bem a esforços (de tração, compressão, cisalhamento e torção).

2.5 - Massa unitária baixa x **grande resistência mecânica**

2.6 - Fácil ligação e conexão
Sambladuras, colagens e reforços metálicos.

2.7 - Não estilhaça
Absorve golpes. Ex.: cais e atracadouros.

2.8 - Isolamento térmico e acústico (boa absorção)

2.9 - Variedade de cor e textura

3 - DESVANTAGENS DO MATERIAL

3.1 - Heterogêneo e anisótropo ➔ Problemas nas próteses. *Parchettagio*.

3.2 - Sujeito à ação de elementos externos
- Clima;
- Ataque biológico ➔ Insetos xilófagos, bactérias, fungos, cracas etc.

3.3 - Combustível

3.4 - Não é estável
Sujeito à ação da umidade.

3.5 - Inconvenientes removíveis se conhecemos o material e dominamos a sua tecnologia.
- Solução de arquitetura adequadas à sua proteção;
- Proteção contra insetos via tratamento e adequada aplicação e/ou detalhe;
- Tratamento **ignífugo**;
- Secagem adequada para evitar deformações e retrações.

Exemplo de durabilidade: pagode de *Horiu-ji* (madeira) - Século VI.

4 - CLASSIFICAÇÃO

- MADEIRA ➔ Lenho dos vegetais superiores;
- Daí: anisotropia – heterogenidade;
- **Vegetais superiores** (que dão madeira) ➔ Fanerógamas ou espermatófitos (**completos**: raiz + caule + folhas + flores).

4.1 - Classificação segundo germinação

4.1.1 - Endógenas: germinação interna

Ex.: árvores tropicais *monocotiledôneas* ➔ Pouco uso (no Brasil!) ➔ Palmeiras, bambu.

4.1.2 - Exógenas: germinação externa

Adição de novas camadas ➔ *Anéis de crescimento;*
Permite a *Dendrocronologia.*

Tipos (fundamentados na estrutura celular do tronco):
a) **Coníferas**, **resinosas** ou **gimnospermas** ➔ Folhas em agulha, madeira branda (ou macia). 35% das espécies;
Ex: pinho, eucalipto etc.

b) **Frondosas**, **folhosas** ou **angiospermas** ➔ Folhas largas e achatadas. Onde estão geralmente as madeiras de lei (65% das espécies conhecidas e 1.500 tipos úteis);
Ex.: peroba, ipê, carvalho etc.

4.2 - Classificação das madeiras (quanto às condições de trabalho)

Hoje madeiras mudaram de categoria, do ponto de vista comercial.

4.2.1 - Madeiras finas

Propiciam bom acabamento ➔ Móveis, marcenaria, esquadrias;
Ex.: louro, ipê, vinhático, cedro, jacarandá (antigamente).

4.2.2 - Madeiras duras ou de lei

Estruturas e suporte;
Ex.: angico, maçaranduba, pau-d’arco (passou para a categoria fina).

4.2.3 - Madeiras resinosas
Construções temporárias, formas;
Ex.: pinho, eucalipto etc.

4.2.4 - Madeiras brandas (popular e genericamente agreste)
Pequena durabilidade;
Rápidos escoramentos;
Ex.: timbaúva.

5 - CRESCIMENTO DAS MADEIRAS (EXÓGENAS) (Fig. 1 e 2)

Climas temperados e frios ➔ Depende da estação:

- Primavera e início de verão: apresenta crescimento intenso ➔ Células de paredes finas ➔ Madeira clara, tecido brando;
- Final do verão e outono: apresenta crescimento menor ➔ Células pequenas de paredes grossas ➔ Madeira escura, tecido + resistente.

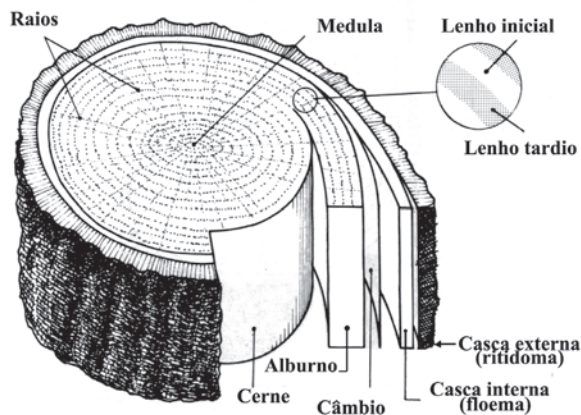



Fig. 1 – Anatomia do tronco de madeira

5.1 - Casca

- Em geral, descartada;
- Proteção ➔ Camada morta de espessura variável + camada fina interna, de tecido vivo e macio (conduz alimento para partes em crescimento);
- Algumas cascas úteis: sobreiro (cortiça) e angico (tanino).

5.2 - Câmbio (não se vê a olho nu)

Tecido *meristemático* ➔ Zona de crescimento ➔ Um anel por ano:

- Zona clara, mais branda, células finas (primavera);
- Zona escura, mais dura, células de paredes grossas.

Obs.: doenças e períodos de secas ➔ Mais de um anel por ano (falsos anéis);

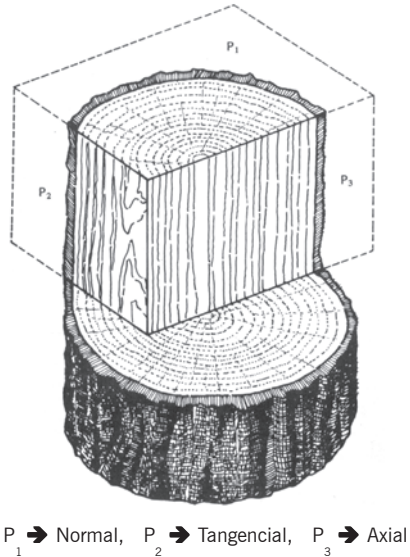
Anéis: caracterizam o crescimento e as *direções diferenciais de anisotropia*.

P_1 ➔ Normal, P_2 ➔ Tangencial, P_3 ➔ Axial

Fig. 2 – Direções diferenciais de anisotropia

5.3 - Lenho (parte resistente)

a) **Cerne** ➔ Células mortas, mais escuras. Suporte do vegetal. Resinas, taninos;
Mais compacto, mais resistente;
Sem alimentos para insetos (amidos, açúcares etc.).

b) **Alburno** ➔ Células vivas - circulação da seiva (branco)
Propriedades mecânicas inferiores;
Mais higroscópica que o cerne;
Mais sensível à decomposição por fungos;
Não se deve remover;

Recebe melhor tratamento (mais poroso);
Antieconômico (25%).

5.4 - Medula

No centro ➔ Material esponjoso, sem resistência.

5.5 - Raios medulares

Ligam as camadas entre si;
Transporte e armazenagem da resina.

6 - ANATOMIA E ESTRUTURA DAS CONÍFERAS (Gimnospermas) E FRONDOSAS (Angiospermas)

Estrutura celular *diferenciada* (Fig. 3) ➔ Função: Circulação / Sustentação

Identificação ➔ Microscopia.

6.1 - Angiospermas ou frondosas (duras)

Elementos ➔ Vasos, fibras, células parenquimáticas e raios medulares.

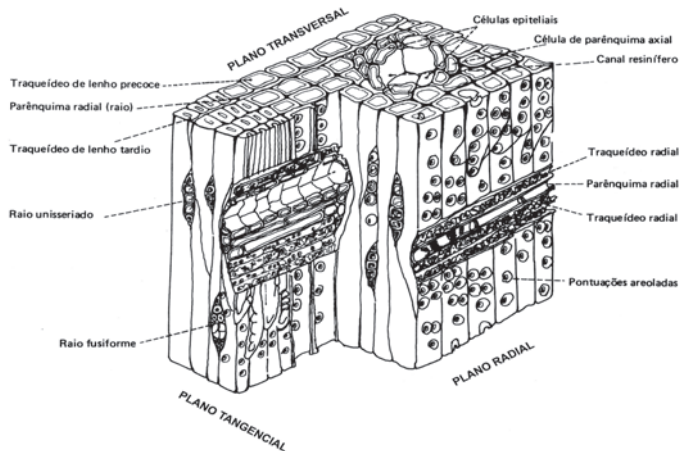



Fig. 3 – Axonometria parcial de tronco de madeira e sua anatomia

a) Vasos

Células abertas justapostas para circulação da seiva nas folhas ➔ Síntese da substância e transformação em seiva elaborada.

b) Fibra
Longitudinal ao caule ➔ Diâmetro irregular e fino;
Seu aglomerado traz *resistência* ao conjunto a depender do tipo fibra (células ocas, alongadas, fechadas nas extremidades).

c) Parênquima
Conjunto de células;
Semelhante às fibras;
Reservas nutritivas.

d) Raios medulares
Células parenquimáticas dispostas do centro à periferia;
Amarração no sentido transversal;
Uni (uma fiada) ou *multisseriados* (várias fiadas).

6.2 - Coníferas

Elementos (mais simples) ➔ Traqueídeos e raios medulares.

a) Traqueídeos
Função de raios e de fibras;
Diâmetro regular com brusco estreitamento na ponta.

b) Raios medulares

7 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Células com membranas celulósicas permeáveis que aos poucos se cobrem de lignina, ligando entre si as células. A lignina deposita-se nas paredes, reforçando-as estruturalmente e reduzindo a absorção de umidade.

Compostos orgânicos:
60% de celulose, 28% de lignina, 12% de outras substâncias (resinas, óleos, ceras etc.) ➔ Cor e cheiro característicos da espécie.

Principais elementos constituintes: 49% C - 44% O - 6% H - 1% de sais minerais (que produzem as cinzas quando a madeira é queimada).

8 - IDENTIFICAÇÃO

Importância no trabalho da conservação ➔ Apoio à pesquisa histórica.

8.1 - Vulgar

- Conhecedores ➔ Cor, cheiro, casca, textura, dureza;
- Sem valor científico, mas na prática muito usada ➔ Confusão de lugar a lugar (nomes diversos);
- Sugestivos ➔ Pau-ferro, canela-de-velho (fina e dura), pau-marfim;
- Nomes indígenas de uso muito antigo ➔ Maçaranduba, peroba, beribá, etc.

8.2 - Botânica

- Coleta de flores, frutos, folhas, sementes;
- Difícil operacionalização, porém mais precisão;
- Exemplos de termos da identificação: *Araucária brasiliensis* (pinho do Paraná), *Aspidosperma peroba* (peroba-rosa).

Corte transversal 10X	Corte transversal 50X	Corte tangencial 50X

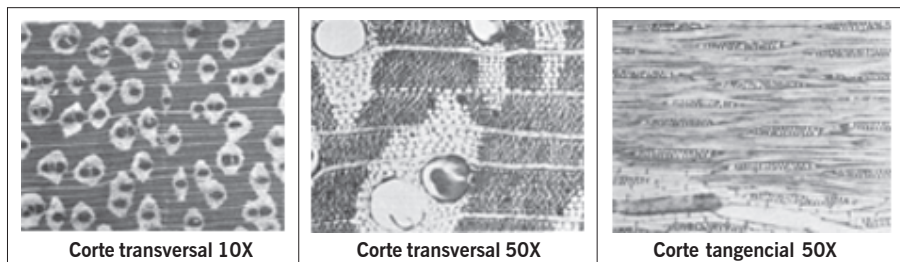



Fig. 4 – Micrografias de lâminas de tecido lenhoso de um angelim (*Vatairea heteroptera* Ducke)

8.3 - Microscópica e micrográfica

1) Amostra localizada ➔ 1x1x4cm;
2) Retirar 3 lâminas de 10 a 60μ, com o micrótomo;
3) Desidratar e colorir;
4) Microscópio de 50x;
5) Comparar com atlas chave (no Brasil, o do IPT).

9 - PRODUÇÃO

- Avaliação e prospecção;
- Corte ou derrubada;
- Toragem;
- Falquejo;

- Desdobramento;
- Aparelhamento (em alguns casos).

9.1 - Corte

Geralmente no inverno (no Brasil, nos meses sem “R”).

Vitrúvio e as recomendações:
A época influi na resistência e na durabilidade, a madeira seca mais lentamente e há paralisação da vida com menos seiva elaborada.

Instrumentos:

Machados de diversas formas (1500-1800g);
Traçador ou **serra manual**;
Máquinas de derrubar ➔ Usadas para torar ➔ Motosserras
➘ Fios aquecidos
Ferramentas auxiliares.

9.2 - Toragem

Cilindros de 5 a 6m para transporte;
Em certas espécies se extrai a casca, se útil.

9.3 - Falquejo

Remoção das *costaneiras.*

9.4 - Desdobramento

Feito em serraria | Serras alternativas (para cima e para baixo);
Serras de disco.

Tipos | Desdobro normal (pranchas paralelas; tangencial aos anéis);
Desdobro radial ou em quartos (normal aos anéis);
Desdobro misto.

9.5 - Aparelhamento

Madeira *aplainada*;
Nomenclatura;
Pranchão, prancha, tábua, viga, vigota, barrote, caibro, ripa etc.

10 - PROPRIEDADES FÍSICAS

10.1 - Fatores de influência

a) Espécie botânica;

b) Massa unitária;

Análise da resistência mecânica.

c) Resistência entre *alburno* e *cerne*;

d) Umidade;

Resultados máximos com secagem completa;

e) Defeitos ➔ Dispersão de ensaios.

10.2 - Características físicas (Norma Brasileira)

a) Umidade

Tem grande influência sobre as propriedades da madeira.

$$\mathrm{U} = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$$

U = Umidade; Mu = Massa úmida; Ms = Massa seca

Norma MB-26 ➔ Corpos de prova de 2x2x3cm em estufa a 105°C.

Origem:

- Água de constituição, situada no protoplasma das células ➔ 90% não seca;
- Água de adesão, água de capilaridade ➔ Enche os canais do tecido lenhoso.

Umidade de equilíbrio com o ambiente: 12-18% (seca ao ar);
Convenção ➔ Média de 15%.

Denominação	Umidade %
Madeira verde	> 30
Semi-seca	23
Comercialmente seca	18-23
Seca ao ar	12-18
Dessecada	0-12
Anidra	0

b) Retratilidade

Propriedade de mudar de dimensões com a ação da umidade (retração/inchamento);

Medida pela norma MB-26 ➔ Instrumento;

• ***Contração volumétrica total*** ➔ É a perda percentual em volume.

$$Ct = \frac{Vv - Vo}{Vo} \times 100$$

Ct = Contração total; Vv = Volume saturado; V_0 = Volume seco

• ***Contração volumétrica parcial*** ➔ Relativa à umidade % existente.

$$Ch = \frac{Vh - Vo}{Vo} \times 100$$

Ch = Contração volumétrica parcial
Vh = Volume a determinado percentual de umidade
V_0 = Volume seco

• ***Coeficiente de retratilidade*** ➔ Variação de volume por mudança de 1% de umidade. Umidade compatível com U.R. do ambiente.

c) Massa específica aparente (massa unitária)

Massa por unidade de *volume aparente* em um determinado teor de umidade.

$$\gamma_h = \frac{M_h}{V_h}$$

Madeiras	**Resinosas** (t/m^3)	**Frondosas** (t/m^3)
Muito leves	0,4	0,5
Leves	0,4-0,5	0,5-0,65
Semi-pesadas	0,5-0,6	0,65-0,8
Pesadas	0,6-0,7	0,8-1,0
Muito pesadas	> 0,7	> 1,0

d) Dilatação térmica

A 0°C e a 0% de umidade o coeficiente é:

$0{,}06 \times 10^{-4}$ ➔ Axial;

$0{,}515 \times 10^{-4}$ ➔ Transversal.

e) Condutibilidade térmica

Mau condutor;

Varia segundo: essência, umidade, direção;

Ex.: Pinho (seco ao ar):

0,093 Kcal/m^2/h/°C (transversalmente);

0,170 Kcal/m^2/h/°C (paralelo às fibras).

f) Condutibilidade elétrica:

- Madeira seca ➔ Quase isolante;
- Muda segundo a direção ➔ 2 a 4 vezes mais fraca na direção axial que na transversal. Cresce com a massa específica;
- *Resistividade* permite avaliar umidade ➔ Princípio de funcionamento dos xilohigrômetros.

g) Durabilidade ➔ Resistência aos agentes de ataque;

Depende de:

- Essências e materiais tóxicos
- Densidade
- Umidade ambiente
- Desseivamento

h) Anisotropia

- Deve-se à orientação das células;
- Apresenta 3 direções principais: **longitudinal**, **radial** e **tangencial** (basta diferenciar as propriedades na direção dos fibras principais: longitudinal e transversal).

11 - PROPRIEDADES MECÂNICAS

Resistência aos esforços:

a) *Principais*: no sentido das fibras ➔ Compressão, tração, flexão estática e dinâmica (ou risiliência) e cisalhamento.

b) *Secundárias*: transversal às fibras ➔ Compressão, torsão, fendilhamento;
Fibras ➔ Elementos de resistência;
Longas ➔ Resistentes à flexão.

Vazios ➔ Madeiras moles

Vazios (pontos fracos) ➚ Vasos e canais
➘ Raios medulares

11.1 - Cotas de qualidade

1) Qualificação da espécie;
2) Qualificação para um fim determinado.

Experiência mostra que $\sigma_{15} / \gamma_{15}^2$ é aproximadamente constante em uma espécie.

Cota de qualidade ou ***cota específica de uma essência***.

$$Cq = \frac{\sigma_{15}}{100.\gamma_{15}^2}$$

Sendo,
σ_{15} = tensão de ruptura do material com 15% de umidade
γ_{15} = densidade do material com umidade de 15%

OBS: Os índices da tensão ou da densidade representam o percentual de umidade da madeira.

Variação de valores	
10-20	Resinosas
12,5-20	Frondosas duras
9-12	Frondosas moles

11.2 - Cotas estáticas

Relação com a mesma espécie;

$$C_{est} = \frac{\sigma_{15}}{100.\gamma_{15}}$$

Variação sistemática crescendo com a *massa unitária*

Valores mínimos	
	Resinosas - 8
	Frondosas brandas - 7
	Frondosas duras - 6

11.3 - Compressão axial (peças curtas)

- Corpos de 2x2x3cm (sem defeito);
- Valor médio de 2 séries ➔ Verde e seca ao ar;
- Influência da umidade ➔ Corpos de prova verdes e secos em estufa;
- *Traçar curvas* ➔ Do trecho retilíneo (h = 10-20%) tira-se o ***coeficiente de correção***. Variação Kgf/cm^2 por 1% h.

$$C_{cor} = \frac{\sigma_{10} - \sigma_{20}}{10} .100kgf \;/\; cm^2 \;/\; 1\%h$$

Pode-se obter a fórmula de correção:

$$\sigma_{15} = \sigma_h + C_{cor}(h - 15)$$

Onde σ_h = tensão de ruptura a determinada umidade

11.4 - Módulo de elasticidade

Método brasileiro:

- Deformações unitárias em uma base de medida de 10cm ➔ 2 pinos de latão em 2 faces;
- Doze corpos de prova de 6x6x18cm na direção das fibras;
- Cálculo no limite de perpendicularidade da curva experimental;
- Expressão a partir da curva de Hook para deformações elásticas.

11.5 - Compressão axial - Peças longas

Flambagem ➔ Não normatizado pelas NB;

- Qualquer prensa, mas com rótulas;
- Corpos de prova de 2x2xh (variável, em cm);
- Dentro da teoria e fórmulas de Euler para resistência.

11.6 - Tração axial

- Raramente rompe por ***tração pura***, mas por ***esforços acessórios*** que provocam fendilhamento, cisalhamento etc.
- Ensaio difícil:
  Interrupção das fibras;
  Alteração de secção;
- Na tração há maior aderência das fibras (contração transversal). Logo, a madeira resiste de 2 a 4 vezes mais que na compressão.

11.7 - Flexão estática

- Corpos de prova de 2x2x30cm (sem defeitos);
- Valores médios de duas séries de madeira (verde e seca ao ar);
- Carga sobre cutelo no centro. Apoios a 24cm. Verificar: ***carga*** e ***flecha*** na rotura;

$$\sigma_f = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

Sendo,
σ_f = tensão limite de resistência à flexão
P = carga
l = comprimento da peça
b = largura da peça (base)
h = altura da peça

Esta fórmula *teórica* seria para materiais *isótropos* e *homogêneos*. Madeira é *anisótropa*, assim ***Marcel Monin*** estabelece um coeficiente de correção, o ***"fator de forma"***.

- A norma brasileira recomenda o uso da fórmula clássica mais o fator de segurança;
- *Influência da umidade*. Mesmo método indicado na **compressão.**

;

11.7.1 - Coeficiente de qualidade

;
Já analisado para o geral. Dá capacidade da madeira para **trabalhar como viga**.
;

$$C_{qf} = \frac{\sigma_{f15}}{100\gamma_{15}}$$

σ_{f15}= tensão limite de resistência à flexão com 15% de umidade
γ_{15} = densidade para umidade de 15%

20-25 ➔ Apta para vigamento;
15-20 ➔ Pouco apta;
10-15 ➔ Não apta.

Tendência para deformar na rotura ➔ Analisada pela *cota de rigidez*.

Madeiras secas ao ar: $\frac{L_{(vão)}}{f_{(flexa)}}$

40-50 ➔ Rígida
30-40 ➔ Pouco rígida (carpintaria)
20-30 ➔ Flexível

11.7.2 - Módulo de elasticidade à flexão
Corpos de prova de 6x6x100cm;
Apoios articulados ➔ Vão: 84cm;
Fórmula clássica:

$$E = \frac{L^3 P}{4fbh^3} kgf / cm^2$$

11.8 - Flexão dinâmica, risiliência

Choque aplicado no meio do vão por um pêndulo;
Madeiras normais: risiliência e flexão estática têm valores próximos.

11.9 - Compressão transversal

- Sentido normal às fibras da madeira;
- Neste caso, após a fase de deformação elástica muito curta, a madeira sofre esmagamento indefinido sob carga constante;
- Do limite de proporcionalidade tiram-se as tensões admissíveis;
- Varia em função da direção do esforço ➔ Tangencial ou radial;

- Ensaio:
  Amostras de 6x6x18cm. Chapa indeformável de 6cm (usar elasticímetro para ver deformações);
  Gráfico ➔ Tensão crescente X deformação.

11.10 - Tração normal às fibras

Aderência das fibras.

Este tipo de solicitação nunca deve ser usado. Se for inevitável, armar com estribos (Fig. 5).

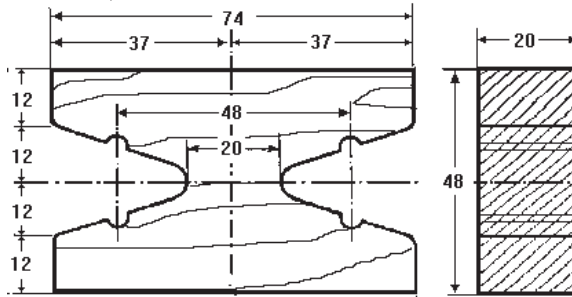



Fig. 5 – Ensaio de tração normal às fibras

11.11 - Fendilhamento

Esforço de lascar a madeira a partir de um lado para descolar a fibra;

Resultados de tração normal a fendilhamento expressos em Kgf/cm^2 e/ou MPa (Fig. 6).

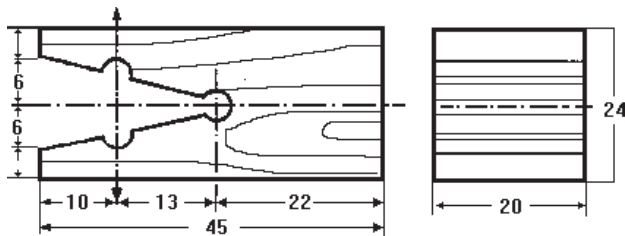



Fig. 6 – Corpo de prova para ensaio de fendilhamento

11.12 - Cisalhamento

Ocorre paralelamente, obliquamente ou normalmente às fibras;

Paralelamente ➔ Menor resistência. O que mais ocorre na prática (Fig. 7).

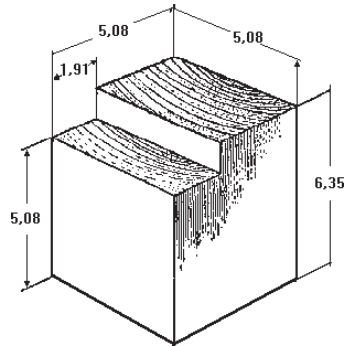



Fig. 7 – Corpo de prova para ensaio de cisalhamento

11.13 - Dureza superficial

Resistência a uma penetração localizada;
Valor convencional do ensaio.
Norma ➔ Esforço para enfiar uma semi-esfera de aço de secção diametral equivalente a $1cm^2$:

Duas séries de corpos de prova de 6x6x15cm (seca ao ar e verde)
Duas impressões em cada topo

Obs.: os valores (em Kgf ou N/10) correspondem ao ***número de dureza***.

Características e conclusões do ensaio:

a) Não destrutivo;
b) Madeiras que suportam abrasão;
c) Trabalhabilidade;
d) Mais duras.

12 - DEFEITOS

12.1 - De crescimento

a) Nós ➔ Envolvimento de ramos por anéis;
Podem ser:
- Nós ***vivos***;
- Nós ***mortos***;
- Nós ***sãos*** (ou secos) ➔ Reduzem pouco a resistência (~20% na flexão se o nó estiver na zona comprimida);
- Nós ***viciados***.

b) Desvio do veio, fibras torcidas ou reversas (fibras não paralelas ao eixo da peça);

- Crescimento de fibras periféricas quando as internas estão estacionárias;
- Causa;

c) Ventos ou gretas

- Descolamento entre fibras ou anéis;

d) Esmoada ou quina morta

- Canto arredondado formado pela curvatura natural do tronco;
- Elevada proporção de madeira branca (alburno).

12.2 - Defeitos de produção

- Fraturas, fendas, machucaduras de abate;
- Tipo de desdobro inadequado.

12.3 - Defeito de secagem

- Retratilidade do material na perda de água;
- Rachaduras e fendas;
- Abaulamento (largura da peça);
- Arqueamento (comprimento).

13 - AGENTES DE DEGRADAÇÃO E PRINCÍPIOS DA PRESERVAÇÃO

No nosso meio é um estudo de suma importância.

13.1 - Causas básicas da degradação

1) Apodrecimento causado por fungos e bactérias;
2) Ataque de insetos xilófagos, especialmente térmitas;
3) Ataque de moluscos e crustáceos, especialmente teredos;
4) Ação do fogo (as madeiras deterioradas são mais combustíveis);
5) Outros agentes: ventos, ação química da poluição etc.

AÇÃO	DEFESA
A) BIOLÓGICA Microorganismos ➔ Bactérias e fungos Insetos ➔ Coleópteros e isópteros (cupins) Brocas marinhas ➔ Moluscos e crustáceos	Madeira de alta resistência natural Incorporar defesa de produtos químicos
B) FÍSICA Umidade Intemperismo ➔ Fotoquímico e lixiviação (água) Fogo Produtos químicos do ambiente (poluição)	Introduzir alterações na estrutura dos polímeros da madeira

13.2 - Ataque de microorganismos

Ação dentro das células ➔ Enzimas que alteram o tecido;

13.2.1 - Bactérias

- Grande variedade. Mais freqüentes ➔ Gênero ***Bacillus***;
- Grande problema das madeiras na água ➔ Casos críticos de Veneza e dos *piers*;
- Decompõem: celulose, hemicelulose e lignina.

13.2.2 - Fungos (emboloradores)

Comuns: **ascomicetos** e **deuteromicetos**;
Mais raros: **ficomicetos**;
Sinais ➔ Formação pulverulenta de coloração variável (massa de esporos coloridos) facilmente removível na superfície da madeira.

Tipos:

a) **Manchadores**: ascomicetos e deuteromicetos, que provocam coloração (azul-cinza-escuro), com manchas de formas e tamanhos variáveis;

b) **Podridão mole**: ascomicetos e deuteromicetos, que desenvolvem hifas no interior das paredes secundárias das células da madeira. Camada superficial escurecida que, quando úmida, fica amolecida e é facilmente removível;

c) **Podridão parda**: basidiomicetos (nutrem-se de hidratos de carbono e lignina) produzem manchas escurecidas cor pardo-escura;

d) **Podridão branca**: basidiomicetos (removem o hidrato de carbono e a lignina). A madeira torna-se mais clara e mais mole que a sadia.

13.3 - Insetos ➔ O maior perigo

- Nomenclatura zoológica:
  Reino ➔ Filo* ➔ Classe ➔ Ordem ➔ Família* ➔ Gênero ➔ Espécie;
  (*)Categorias introduzidas após a proposta de Linnaeus (1758).
  Exemplo de citação de gênero (em maiúscula) e espécie (em minúscula): *Lyctus brunneus*.

  - Artrópodes: com 3 regiões ➔ Cabeça, torax e abdômen;
  - Xilófagos A) **Isópteros** (cupins ou térmitas);
    B) **Coleópteros** (besouros).

A) **Isópteros** (da ordem *Isoptera*)

Sete famílias, das quais quatro existem no Brasil e uma delas só aqui, os *Serritermitidae*. Nestas famílias existem mais de 2.000 espécies. São *hemimetábolos* (sofrem metamorfose parcial), *eusociais* e predominantemente tropicais:

- *Kalotermitidae* (cupins primitivos). Vivem só na madeira, em colônias pouco populosas e não fazem construções elaboradas;
- *Rhinotermitidae* (espécie intermediária). Desenvolvem-se no solo e/ou em madeiras no solo e têm colônias populosas;
- *Termitidae* (cupins superiores). Com maior número de espécies, apresentam-se em colônias mais populosas, morando em ninhos de "arquitetura" muito elaborada;

Indivíduos das colônias:

- Operários (estéreis) ➔ Reprodutores (imagos)➔ Soldados (Fig. 8).

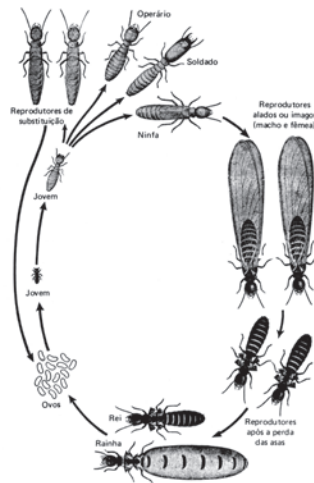



Fig. 8 – Ciclo esquemático da vida do cupim (Ordem: *Isóptera*)

B) **Coleópteros** (da ordem *Coleoptera*) [Fig. 9 (a) e (b)].

Peças bucais resistentes de mastigador. Têm dois pares de asas: as anteriores (*élitros*) são duras e funcionam como um estojo. É a maior ordem, com cerca de 350.000 espécies, o que representa cerca de 40% dos insetos. Os tamanhos variam de 1 a 200mm.

Fig. 9 – (a) Ciclo esquemático da vida dos coleópteros.
(b) Desenho de um coleóptero com as características principais.

Os mais importantes representantes xilófagos da ordem celeoptera:

- *Cerambicydae** (uma das maiores famílias) ➔ Madeiras, vivas, secas ou degradadas;
- *Scolitidae** ➔ Árvores vivas ou recém abatidas;
- *Plastipodidae** ➔ Idem;
- *Curculionidae* ➔ Idem;
- *Bostrychidae* ➔ Madeira em secagem;
- *Lyctidae** ➔ Madeira seca;
- *Anobiidae** ➔ Idem;

(*) Ordens também referidas em textos italianos como importantes xilófagos na Europa.

13.3.1 - Ocorrência e abrigo

- Só na madeira;
- No solo ou em madeiras no solo;
- Colônias pequenas, sem construção elaborada;
- Colônias populosas;
- Ninhos subterrâneos ou em troncos;
- Ninhos de “arquitetura” elaborada;
- Ninhos em extremidades de postes e estacas (epígeos).

13.3.2 - Alimentação

- Celulose (bactérias simbióticas), cultivo de fungos, amido do alburno, lignina;
- Para alimentação, atacam madeira morta ou viva, seca ou úmida;
- Além das madeiras, atacam livros (celulose do papel) ➔ *Catorama herbarium*.

Controle: **biológico** (feromônios e hormônios) e **químico** (pesticidas).

13.4 - Xilófagos marinhos

Estudo de grande importância pela degradação que provoca em obras e em-

barcações. No trópico, o ataque é constante. É observado desde a mais remota antiguidade.

Tipos segundo a ação: incrustantes (ação mais lenta) e perfurantes.

13.4.1 - Incrustantes

Alguns incrustantes importantes:

- Briozoários ➔ Em geral não atacam madeira;
- Ascidas;
- Cracas ➔ Mais freqüentes.

13.4.2 - Perfuradores

Maioria penetra no substrato para proteção, outros fazem da perfuração uma fonte de alimento. Os mais danosos são:

1. Subfamília *Xilophagainae* (molusco);
2. Família *Teredinidae* (molusco);
3. Família *Limnoriidae* (crustáceo) (Fig. 10);
4. Família *Spheromatidae* (crustáceo).

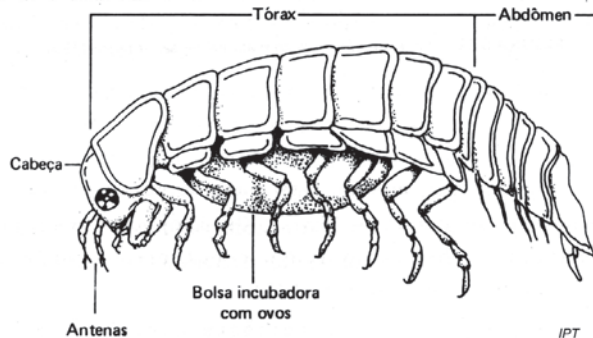



Fig. 10 – *Limnoria lignorum* (crustáceo)

13.5 - Preservação

Impregnação com substâncias tóxicas.

Preliminares:

1) Descorticamento ➔ Aumenta a permeabilidade à solução do produto;
2) Desseivamento ➔ Vapor permite aumentar a preservação (esterilizando);
3) Secagem ➔ Aumenta a absorção e evita o fendilhamento.

Tipos de tratamento:
Sem pressão ➔ **Pincelamento** (procurando a embebição) ou **imersão** (melhor dentro das nossas condições);
Sob pressão (industrial) ➔ Facilita a impregnação:

- Processo Bethell ou das células cheias: vácuo ➔ preservativo ➔ vácuo;
- Processo Rueping ou das células vazias: pressão ➔ preservativo (aquecido) + pressão ➔ vácuo.

A eficiência e o rendimento econômico da madeira tratada são medidos pela vida útil da madeira submetida ao processo de tratamento.

Critério imediato de aplicação ➔ **Quantidade de preservativo absorvido** (pesagem antes e depois) e **penetração no alburno** (testes colorimétricos, observação visual e medidas diretas através de análise química).

Ensaios de controle de deterioração:

- Corpos de prova de material tratado e não tratado;
- Ensaios acelerados com cultura de fungos e insetos em laboratório.

14 - CLASSIFICAÇÃO ESTRUTURAL DAS PEÇAS

- Qualidade ou categoria. NB-11 - "Cálculo e execução de estruturas de madeira";
- 2ª categoria/1ª categoria. Esta norma não dá classificação pelos defeitos;
- As normas DIN ➔ *Alta*, *comum* e *baixa* resistência, em função:
  1) Dos diâmetro dos nós e localização;
  2) Da forma e dos diâmetros em determinado comprimento da peça;
  3) Das inclinações do veio.

15 - TENSÕES ADMISSÍVEIS

NB-11 prevê:

- Espécies ensaiadas em laboratórios especiais;
- Espécies qualificadas por ensaios de pequenas amostras (sem defeitos);
- Espécies ainda não ensaiadas. Usando a *massa unitária*.

15.1 - Ensaio de pequenos corpos de prova

Resultado médio de pequenos corpos de prova de *madeira verde* sem defeito.

15.2 - Ensaios estruturais

Corpos de prova com dimensões aproximadas do real;
Coeficientes de **redução** e **segurança**;

VIII. PRODUTOS QUÍMICOS DA CONSERVAÇÃO/ RESTAURAÇÃO

Il nous faut développer les applications de ces matières nouvelles et montrer comment, en conservant des principes excellents ... on doit être entraîné à modifier les formes de la structure.
VIOLLET-LE-DUC [(8)].

1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 - Cuidados com o manuseio

- Conhecimento da simbologia:

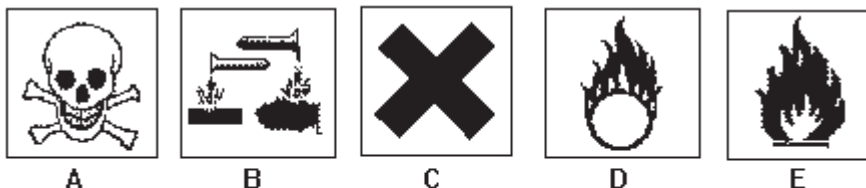



Fig. 1 – Exemplos da simbologia de indicação da periculosidade

- Identificação cuidadosa dos recipientes com etiquetas;
- Uso de máscaras e luvas de proteção nos casos indicados;
- Alguns polímeros e solventes são nocivos e inflamáveis;
- Tema assaz amplo e complexo que procuramos resumir no essencial.

1.2 - Exatidão das misturas para obter bons resultados

Evitar usar o “olho” na preparação do que quer que seja.

2 - CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO DE POLÍMEROS

2.1 - Tipologia segundo os monômeros

- Homopolímero ➔ Utilizando um só monômero;
- Copolímero ➔ Com dois ou mais.

2.2 - Tipologia segundo a estrutura

- Linear
- Ramificada

} Termoplásticas

- Rede } Borrachas (poucas ligações)
Termofixas (muitas ligações)

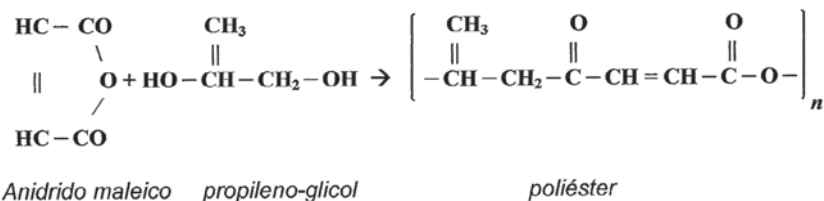
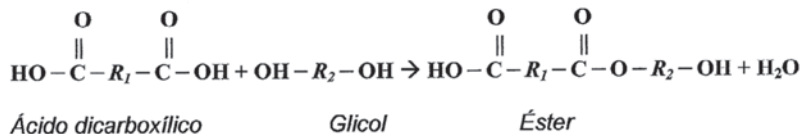
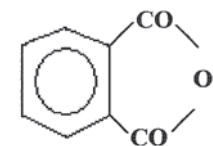
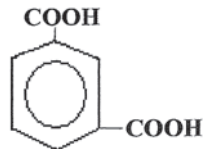
3 - POLIÉSTERES

Obtidos a partir de uma reação de esterificação:

$$\mathrm{HO-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-\mathit{R_1}-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH+OH-\mathit{R_2}-OH \rightarrow HO-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-\mathit{R_1}-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\mathit{R_2}-OH+H_2O}$$

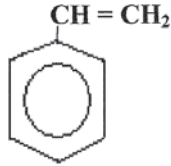
Ácido dicarboxílico *Glicol* *Éster*

$$\begin{matrix}\mathrm{HC-CO} & \\ \| \quad \backslash & \\ \| \quad\; \mathrm{O} & \\ \| \quad / & \\ \mathrm{HC-CO} & \end{matrix} + \mathrm{HO-\overset{\overset{CH_3}{\|}}{CH}-CH_2-OH} \rightarrow \left[-\mathrm{\overset{\overset{CH_3}{\|}}{CH}-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH=CH-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-}\right]_n$$

Anidrido maleico *propileno-glicol* *poliéster*

3.1 - Variantes ➔ Obtidas a partir do **anidrido ftálico** e do **ácido isoftálico**;

Anidrido ftálico *Anidrido isoftálico*

3.2 - Copolímeros

Substâncias orgânicas capazes de participar do processo da interligação. Funcionam como pontes entre as cadeias.

$CH = CH_2$

Monômero de estireno

O monômero de estireno é o preferido em função da sua grande compatibilidade com as resinas de poliéster. Sua mistura, porém, não deve ultrapassar certos limites para não afetar a resistência do material.

3.3 - Catalisadores

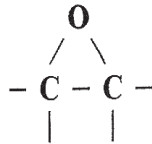
Fundamentais para darem início ao processo de catálise. A radiação U.V. e a radiação γ podem ser responsáveis pela catálise, dentre outros fatores, mas na prática são usadas substâncias químicas, como alguns peróxidos, que facilitam os processos reativos e a ligação entre as cadeias. Por exemplo, podemos citar o ***peróxido de benzoíla*** e o ***peróxido de metil-etil-cetona***. Este último, também conhecido pela sua abreviatura MEK, é o mais comumente usado.

3.4 - Utilização na conservação/restauro

- São por definição materiais **irreversíveis**.
  Equívocos da **reversibilidade** x **irreversibilidade** e a relatividade do conceito;
- Em virtude do seu relativo baixo custo podem ser utilizados como colantes e material de reforço. Podem constituir-se em **aglomerantes** para argamassas especiais como, por exemplo, em barreira física à capilaridade ascendente no método criado por Massari. Podem ser reforçados com fibra de vidro (manta ou *roving*) com a qual tem uma grande compatibilidade, o que lhes dá enorme resistência.
  Comercialmente encontradas ➔ Normais - Pré-aceleradas;
- Sensíveis à radiação **U.V.**, mesmo depois de catalisadas, tendem a escurecer e por isto não devem ser usadas como protetores externos. Consegue-se minorar o problema pela adição de inibidores de U.V., como o “Tinuvim”.

3.5 - Discussão de algumas aplicações

4 - EPÓXIS

Resinas de alta resistência e grande poder de colagem, em geral obtidas pela adição de dois componentes. Quimicamente o grupo epóxi é definido por:

4.1 - Utilização na conservação/restauração

Especialmente pela grande ação colante. As variedades com diferentes viscosidades e consistências podem achar aplicação em diversas atividades da conservação. As fluidas são, por exemplo, utilizadas para injeções em pequenas fissuras, para consolidação. As massas como o Durepóxi podem ser usadas para moldar reintegrações, inclusive de partes metálicas perdidas ou destruídas pela oxidação. As de consistência tixotrópica são as mais adequadas para colagem de peças soltas, com ou sem a ajuda de pinos (em geral inoxidáveis). Todos estes tipos de aplicações podem ser encontrados na restauração do Mercado Modelo, Antiga Alfândega de Salvador (Fig. 2).
Muitas firmas produzem resina epóxi sob as mais variadas características como: Vedacit, Ciba-Geigy, Fosroc, Sika, etc.

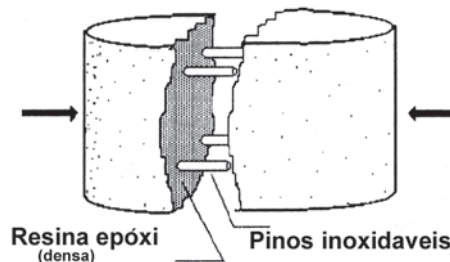



Fig. 2 – Colagem de tambor de coluna com pinos e epóxi

Fig. 3 – Emenda em bloco de Lioz com resina epóxi.
Obra de restauração do Antigo Presídio S. José, Belém do Pará.

Permitem extrema versatilidade no reforço estrutural, que vai do concreto armado às estruturas de madeira. No último caso foi desenvolvido um sistema de reforço específico denominado W.E.R. (*wood epoxy reinforcement*). Utilizado no palácio Antônio Lemos, Pará, na casa da Fazenda Api, em São Sebastião do Passé, Bahia, no Solar Amado Bahia, em Salvador. Vem sendo objeto de investigações no NTPR.

Pela sua extrema sensibilidade à radiação U.V., devem sempre ser usadas na parte interna das peças, para não ter cor e durabilidade alteradas.

4.2 - Cuidados

- Embora não sejam de manuseio muito perigoso, algumas espécies mais do que outras são agressivas à pele. Recomenda-se, portanto, o uso de luvas na operação.
- A escolha do tipo de material mais adequado para ser empregado dependerá do conhecimento das propriedades de cada um, tanto em relação à sua origem química, quanto em relação à necessidade de maior ou menor fluidez do produto. Diversos fabricantes produzem resinas epóxi de boa qualidade, que podem ser usadas na consolidação e na restauração.
- Verificar sempre o prazo de validade do produto e as condições de estocagem, que podem influir no resultado final da intervenção.

4.3 - Obtenção

Bisfenol A + epicloridina ➔ Resina de bisfenol A-epicloridina;

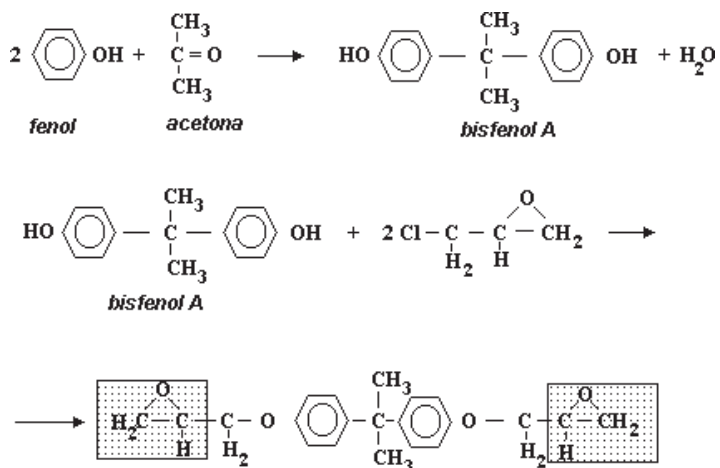
DGEBA (*Diglicidyl Ether of Bisphenol A*)

$$2\ \text{fenol} + \text{acetona}\ (CH_3-CO-CH_3) \longrightarrow \text{bisfenol A}\ (HO-C_6H_4-C(CH_3)_2-C_6H_4-OH) + H_2O$$

fenol acetona bisfenol A

$$\text{bisfenol A} + 2\,Cl-CH_2-CH-CH_2\ (\text{epóxido}) \longrightarrow$$

bisfenol A

$$\longrightarrow H_2C-CH(O)-CH_2-O-C_6H_4-C(CH_3)_2-C_6H_4-O-CH_2-CH-CH_2(O)$$

4.4 - Catálise e cura

Agentes endurecedores que provocam polimerização:

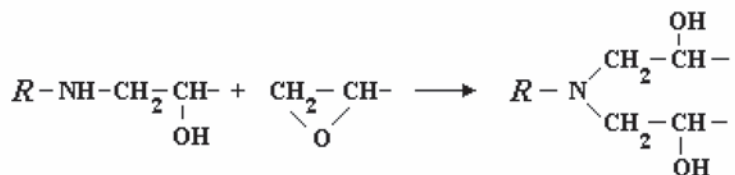
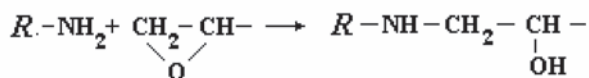
- Aminas terciárias;
- Aminas polifuncionais;
- Ácidos anidros.

O calor e o tempo seco ajudam no processo de catálise.

Exemplo de reações com aminas polifuncionais:

(A) Reação geral para aminas polifuncionais

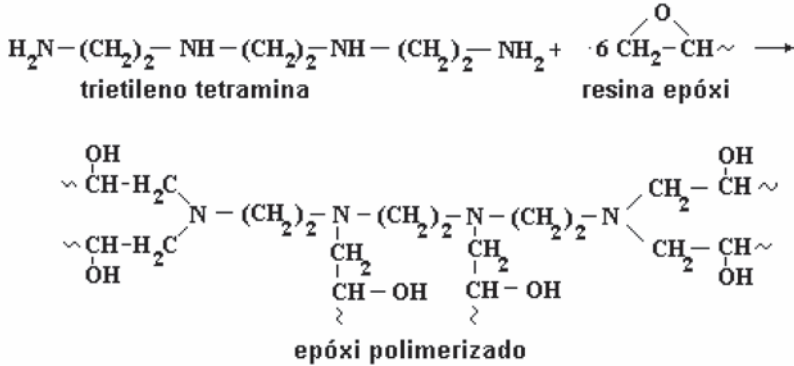
$$R-NH_2 + CH_2-CH-\ (\text{O}) \longrightarrow R-NH-CH_2-CH(OH)-$$

$$R-NH-CH_2-CH(OH)- + CH_2-CH-\ (\text{O}) \longrightarrow R-N(CH_2-CH(OH)-)_2$$

(B) Reação para o trietileno tetramina

$$H_2N-(CH_2)_2-NH-(CH_2)_2-NH-(CH_2)_2-NH_2 + 6\ CH_2-CH\sim\ (\text{epóxido, ponte } O) \longrightarrow$$

trietileno tetramina — resina epóxi

$$\begin{matrix} \sim CH(OH)-H_2C \\ \sim CH(OH)-H_2C \end{matrix} > N-(CH_2)_2-\underset{\underset{\underset{\wr}{CH-OH}}{|}}{\underset{|}{N}}\!\!\!\!\!\!\!\!\!\!\!\!\overset{}{}CH_2 \ -(CH_2)_2-\underset{\underset{\underset{\wr}{CH-OH}}{|}}{\underset{|}{N}}CH_2-(CH_2)_2-N < \begin{matrix} CH_2-CH(OH)\sim \\ CH_2-CH(OH)\sim \end{matrix}$$

epóxi polimerizado

5 - ACRÍLICOS

São resinas que assumem grande importância na conservação e no restauro em vista de sua grande resistência ao intemperismo. Pouco susceptíveis à oxidação, o que só acontece com temperaturas mais altas. Tecnicamente, os acrílicos pertencem à família dos vinís. Teoricamente, são **produtos reversíveis**.

5.1 - Preparação

Esterificação de ácidos acrílicos com diferentes álcoois, produzindo monômeros como:

Acrilato de metila ➔ $CH_2 = CH - COOCH_3$

Metacrilato de metila ➔ $CH_2 = C(CH_3) - COOCH_3$

Existem outras formas de obtenção de monômeros, dentre as quais a partir do etileno ($H_2C{=}CH_2$).

Além dos monômeros citados, outros de uso comum da família:

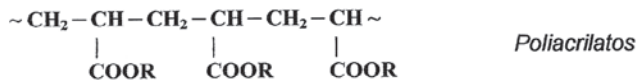
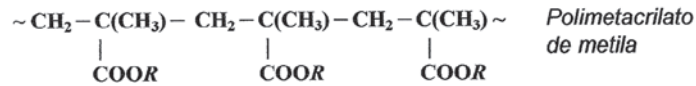
Ácido acrílico - Acrilato de etila - Ácido metacrílico - Metacrilato de butila

5.2 - Polimerização

Em virtude da dupla ligação dos átomos de carbono no monômero, uma delas é liberada na polimerização, dando origem a polímeros termoplásticos, como:

$$\sim CH_2-\underset{COOR}{\underset{|}{CH}}-CH_2-\underset{COOR}{\underset{|}{CH}}-CH_2-\underset{COOR}{\underset{|}{CH}}\sim \qquad \textit{Poliacrilatos}$$

$$\sim CH_2-\underset{\displaystyle COOR}{\underset{|}{C(CH_3)}}-CH_2-\underset{\displaystyle COOR}{\underset{|}{C(CH_3)}}-CH_2-\underset{\displaystyle COOR}{\underset{|}{C(CH_3)}}\sim$$

Polimetacrilato de metila

5.3 - Catálise

No processo de polimerização, a catálise é obtida através do calor, da radiação U.V., da radiação γ ou de um catalisador, em geral um peróxido, como: peróxido de benzoíla, peróxido de diclorobenzoíla, butil-hidroperóxido (terciário) e similares.

Para conservação na estocagem, os monômeros acrílicos, embora não sejam muito sensíveis como os poliésteres, são aditivados com produtos como a **hidroquinona** para permanecerem estáveis. Um monômero com inibidor necessita de maior quantidade de catalisador para superar a ação deste inibidor, ou então devem-se utilizar neutralizantes do inibidor.

A simples presença de catalisador pode não provocar necessariamente a polimerização do monômero, que pode requerer aquecimento, além do catalisador. Neste caso, **deve-se utilizar toda a cautela**, porque os monômeros acrílicos são muito inflamáveis. Na prática, entretanto, quase nunca utilizamos monômeros, mas polímeros dissolvidos.

5.4 - Solventes e suspensões

A condição de **material reversível** das resinas acrílicas serve para aplacar os escrúpulos da restauração teórica. Podem ser dissolvidas e são removíveis (até certo ponto) por acetonas, ésteres, hidrocarbonetos aromáticos e outros solventes.

Uma versão de aplicação de resinas acrílicas é a **suspensão acrílica**. Trata-se de uma dispersão aqüosa de microscópicas esferas de acrílico (0,1 a 0,2nm) em suspensão, com a ajuda de um emulsificante. É capaz de formar um "filme-rede" que evita penetração de água sob a forma líquida, mas admite saída de vapor d'água, o que é muito positivo. Um exemplo do seu uso pode ser encontrado no Museu de Arqueologia da UFBA (Bahia, Brasil).

5.5 - Exemplos de produtos acrílicos comerciais

Devemos ter muito cuidado na escolha de produtos acrílicos para aplicar em

objetos de interesse cultural, especialmente em superfícies sujeitas ao intemperismo. Grande parte de resinas comerciais tidas como acrílicas usadas para tratamento de pedras, na realidade têm de 10 a 20% de acrílico e o resto é estireno, escolhido pelo custo baixo, mas sujeito a alteração.

Entre os produtos (dissolvidos ou não) de origem acrílica, de reconhecimento internacional, temos:

- Da *Rohm & Haas* ➔ Paralóides B-44 (MMA/ ?), B-67 (iBMA) e B-72* (EMA/MA 70/30);
- Da *Du Pont* ➔ Elvacite 2043 (EMA/ ?), 2044 (*n*BMA), 2045 (iBMA) e 2046 (nBMA/iBMA 50/50).

Entre as suspensões, que são materiais acrílicos também de grande durabilidade, temos:

- Da *Rohm & Haas* ➔ Primal AC-33 [EA(60)/ MMA(40)/ EMA (?)], Primal AC- 61 (?), Primal AC-73 (?), Primal AC-634 [MMA(65)/EA(35)], Primal N-560 (?), **Primal WS24 (?), **Primal WS50 (?);
- Da *Scott* ➔ Texicril 13-002 [EA(65)/ MMA(35)/ EMA(?)];
- Da *Röhm GmbH* ➔ Plextol B500 [EA(65)/MMA(35)/ EMA(?)], *Plextol D360 [EA(60)/MMA(40)/ EMA(?)];

(*) pH próximo a 7,5.

(**) Partículas muito pequenas e pH quase neutro.

6 - RESINAS POLIVINÍLICAS

Família importante de resinas **termoplásticas** muito comuns na restauração, especialmente no caso de restauração de bens móveis. Alguns monômeros podem ser representados assim:

$CH_2 = CHR$ ➔ Estrutura básica onde varia o grupo *R*;
$CH_2 = CHOCOCH_3$ ➔ Acetato de vinila;
$CH_2 = CHOH$ ➔ Álcool vinílico;
$CH_2 = CHCl$ ➔ Cloreto de vinila;
$CH_2 = CCl_2$ ➔ Cloreto de vinildieno.

6.1 - Acetato de polivinila (PVAC)

- Tem razoável resistência à luz e à radiação U.V.;
- Pode ser aplicado em soluções ou emulsões. No primeiro caso, os solventes podem ser tolueno, acetona ou álcool. Podem também ser obtidas emulsões aquosas com partículas de $\approx 0,1\mu$, em suspensão;

- É aplicado como protetor de vidros antigos que sofrem a ação do CO_2, na preparação de argamassas especiais e como consolidante de materiais arqueológicos.

6.2 - Álcool polivinílico (PVAL)

- Derivado do PVAC. Produz filmes duros e tem boa resistência mecânica, mas é sensível à água;
- É somente dissolvido por poliálcoois e uns poucos solventes de grande polaridade.

7 - SILICONES E SILANOS

Grande variedade e aplicações ➔ Desde hidrorrepelentes e protetores a borrachas vedantes e formas elásticas, muito usadas na conservação/ restauração.

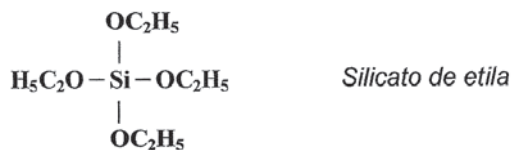
Uso inicial ➔ Hidrorrepelentes que, em geral, não modificam as características cromáticas dos materiais. Têm uma duração relativamente limitada que não ultrapassa os seis anos.

7.1 - **Formas mais simples** ➔ Silanos: SiR_4 e di-silano Si_2R_6 , Exemplos:

H_3SiCl è Cloro-silano;
CH_3SiCH_3 ➔ Metil-silano;
$(CH_3)_2SiCl_2$ ➔ Dimetil-dicloro-silano.

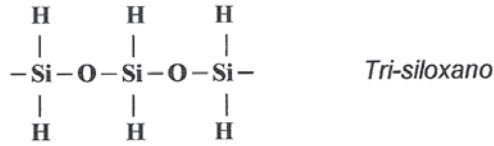
Caso particular do $(H_5C_2O)_4Si$ ➔ Tetra-etóxi-silano (silicato de etila);
Consolidante orgânico que no final assume a condição de sílica mineral. Muito eficiente na consolidação de arenitos e rochas silicáticas, bem como de construções de terra (adobes e taipas). Sigla: TEOS.

$$
\begin{array}{c}
OC_2H_5 \\
| \\
H_5C_2O - Si - OC_2H_5 \\
| \\
OC_2H_5
\end{array}
$$

Silicato de etila

7.2 - Siloxanos

Compostos em cuja molécula existem algumas ligações **sílica-oxigênio.**
Exemplo:

```
 H       H       H
 |       |       |
–Si – O – Si – O – Si–
 |       |       |
 H       H       H
```

Tri-siloxano

7.3 - Silanol

Molécula com ligações do grupo hidroxila (OH). Ex:

H_3SiOH ➔ Silanol;

$(C_2H_5)_2Si(OH)_2$ ➔ Difenil-silaneidol.

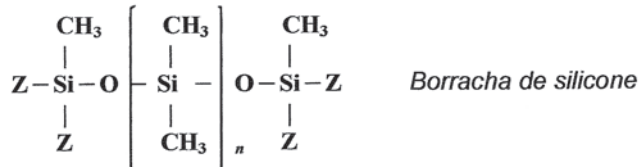
7.4 - Borrachas de silicone

Múltiplas finalidades. Mais usadas na conservação ➔ Vedantes de infiltrações, colagens e formas para reproduções e reintegrações.

As borrachas vedantes que catalisam à temperatura ambiente são muito conhecidas e podem ser compradas em supermercados. Em geral são metil-silicones cujas variantes estão no grupo que substitui "Z" na fórmula geral que dá como resultado uma reação básica, ácida ou neutra. Afirma-se que os produtos de reação ácida ou básica não afetam metais, mas seria preferível utilizar as versões neutras, especialmente em materiais susceptíveis ao ataque, como rochas carbonáticas.

Os silicones para moldes são catalisados com a adição de um reagente. As formas para secções polidas de poliéster usadas em laboratório são, em geral, feitas com borrachas de silicone.

```
     CH3     [  CH3  ]      CH3
     |       [  |    ]      |
Z – Si – O – [  Si – ]  O – Si – Z
     |       [  |    ]      |
     Z       [  CH3  ]n     Z
```

Borracha de silicone

Exemplo de restauro da Pietà ➔ Resina RTV2 da Wacker Chemie.

8 - RESINAS VERNIZES E GOMAS NATURAIS

Polímeros naturais obtidos, em geral, de vegetais das espécies coníferas e fósseis de vegetais. Pontos de fusão entre 75°C e 360°C.

↗ Resinas propriamente ditas
Tipos ➔ Gomas resinas
↘ Bálsamos

8.1 - Gomas

Polímeros vegetais composto de açúcares, glicoses e hidrocarbonetos bastante complexos. Algumas produzidas diretamente pelos vegetais outras obtidas a partir de essências vegetais processadas pelo homem. Em geral são solúveis em água e insolúveis em solventes orgânicos. Alguns exemplos:

- Goma arábica ➔ Extraída principalmente da *Acacia arabica*. Conhecida desde a mais remota antiguidade. Usada como ligante para pintura sobre papel, colagem de papel e outras. Quase todas as variedades são solúveis em água.
- Goma adragante ➔ Obtida das leguminosas do gênero *Astragalus*. Procedente da Grécia, ilhas gregas, Ásia Menor, e outros locais. Branca, opaca, mas translúcida.
- Goma de "ceraso" ou de cerejeira ➔ Nome genérico para definir gomas de diversas árvores frutíferas.
- Goma de Butea ➔ Extraída da *Butea frondosa*, Roxb. Principal produtor é a Índia, onde foi usada para tratar peles, em virtude grande quantidade de tanino na sua composição. Diferentemente de outras gomas é solúvel em álcool etílico e metílico.
- Goma de eucalipto ➔ Principalmente obtida de três espécies de eucaliptos: *Eucaliptos carymbosa*, Smith, *Eucaliptus leucoxylon*, Muller e *Eucaliptus viminales*. Contém bastante tanino.
- Outras: Goma de palmeira, de oliveira, de cedro etc.

8.2 - Resinas

- Benjoim ➔ Resina odorífera obtida através de incisões feitas na *Stirax benzoim*. Muito encontrado na ilha de Java.
- Sangue de dragão ➔ Obtida nos frutos da *Calamus draco*, muito comum na Malásia.
- Elemi ➔ Resina odorífera obtida da família das Bueseraceas de onde se conseguem vernizes e aditivos, obtidas, por exemplo:
  De Manila na *Canarium comuni*
  Da África na *Boswellia freriana*
  Da Mauritânia na *Canarium peniculatum*
  Do Brasil das caricáceas.

- Mastiques ➔ De um espécie de pistácio (pistacchio) *Pistacia lentiscus*. No Período Medieval conhecida como Pistácio de Chio (ilha grega). Droga muito comercializada desde o tempo dos gregos e romanos. Outras variedades:
  De Bombaim da *Pistacia hinjuk.*
  Da África obtida da *Pistacia terebinthus.*

- Dammar ➔ Resina muito utilizada pelos pintores, obtida em diversos tipos de pinheiros:
  Na Índia através da *Hopea splendida*
  Na América do Sul da *Araucaria angustifolia.*

- Sandaraca ➔ Resina usada desde a antiguidade. Abundante na África setentrional (Marrocos e Algélia). Não confundir com sandaraca, pigmento referido por Vitrúvio no Liv. XVII e que é um sulfeto de arsênico.
  Da África obtida da *Calistris quadrivalvis* e da *Calistris verucosa*.

- Copal ➔ De origem fossil mais recente. Encontrada principalmente na África, Manila e Brasil.
  Tipos: Duras, semidura e moles.
- Ambar ➔ Obtido de coníferas fossilizadas antigas. De solubilidade difícil. Aquecer a 220°C e destilada a 400°C quando se torna mais solúvel.
- Terebintina ➔ Óleo-resina, solúvel em essência de terebintina, alcoóis, hidrocarbonetos aromâticos e similares. Obtida de diversas variedades de *Pinus*.
- Essência de terebintina ➔ Obtida da destilação da terebintina.
- Goma laca ➔ Provocada por insetos em ramos de algumas espécies de árvores. Principal mercado é a Índia. Espécies vegetais:
  Ficus bengalensis
  Ficus indica
  Ficus religiosa

- Colofônio ➔ Conhecido também como alcatrão grego. Resina obtida da destilação da terebintina.

8.3 - Gomas resinas

- Goma amoníaco ➔ Obtida da *Doremma ammoniacum*, encontrada nas vizinhanças dos lagos salgados da Ásia Ocidental e da Índia.
- Gálbano ➔ Obtida da *Ferula galbaniflua*, de uso medicinal.
- Goma “serafina” ➔ Obtida da *Ferula persica* ou da *Ferula szovitzana*,

muito encontradas no Irã. Dissolve-se em álcool com dificuldade.

- Assa-fétida ➔ Obtida nas raízes da *Ferula narttex* e da *Férula sorodosma*, encontradas normalmente no Irã, Síria, Afeganistão e Líbia.
- Opópanax ➔ Resina de cheiro desagradável usada como fixador de perfumes. É obtida da *Opopanax chinorum*, Koch, encontrada na Europa mediterrânea.
- Mirra ➔ Resina muito empregada na farmacologia e como auxiliar nos antigos embalsamamentos. É extraída da *Balsamea myrrha*, Engler, ou *Commiphora myrrha* com outra sinonímia botânica atribuida por Nees: *Balsamodendron mirrha*.
- Bdélio ➔ Produto semelhante à mirra.
- Incenso ➔ Produto muito conhecido de todos pelo seu uso religioso, obtido de vegetais da família das Burseráceas (mais de 600 espécies).

8.4 - Bálsamos

- Bálsamo
- Bálsamo-do-peru
- Bálsamo-de-tolu
- Áloe ➔ Suco condensado obtido das folhas do áloe. Tinha, desde a Antiguidade, emprego na medicina e como verniz.
- Bálsamo de Guriun.
- Bálsamo-do-Canadá ➔ Obtido da *Abies balsamica* muito encontrada na América do Norte e Canadá. Empregado na pintura, mas, principalmente, na colagem de lentes e lamínulas de microscópio em laboratórios.
- Bálsamo-do-óregon.

9 - CERAS E PARAFINAS

Substâncias sólidas que se fundem com facilidade e não se saponificam facilmente com o uso de álcalis. Geralmente contêm ésteres de cadeias longas, ácidos e álcoóis. Podem ser translúcidas ou opacas.

Material de uso bastante antigo. Delas existe grande variedade, empregadas largamente na arte, restaurações de artefatos, reintegrações, proteção de materiais líticos cerâmicos e metálicos e até na técnica de pintura conhecida como encáustica.

Ceras naturais	Animais	Produzidas por alguns animais e contida em alguma parte deles, como os cetáceos.	Cera de abelha, cera chinesa, lanolina, cera de goma-laca, espermacete...
	Vegetais	Contidas no interior ou na superfície das fibras vegetais.	Cera de carnaúba, candelilla, japonesa, de algodão, de tabaco, de linho, de esparto, de ouricuri...
	Minerais	De origem fóssil	Cera montana, ozocerita...
		Extraídas do petróleo	Parafinas, ceras microcristalinas...
Ceras Artificiais	Chamadas também de ceras sintéticas, algumas delas derivadas de ceras naturais. São semelhantes às ceras naturais embora diferentes quimicamente.		Ceras amídicas, cetônicas, de Gersthofen, hidrocarbúricas sintéticas, polietilênicas, silicônicas ...

Quadro geral das ceras adaptado de Montagni

9.1 - Ceras animais

- **Ceras de abelha ➔** Produzidas pelas abelhas e muito usadas antigamente na restauração de bens móveis, em muitos casos com pouca propriedade. Em alguns casos era feita a adição de pó de serra ou de gesso;
- Outras ceras existem como a **lanolina** e o **espermacete**, cuja recente aplicação não apresenta interesse direto no nosso trabalho.

9.2 - Ceras vegetais

- **"Candelilla" ➔** Extraída do vegetal (caniço) ***Euphorbia cerifera***, pela imersão em água fervente. Muito comum no México e no Texas;
- **Cera de carnaúba ➔** Material típico do Brasil, extraído da ***Copernicia cerifera*** ou ***Copernicia prunifera***, palmeiras muito comuns entre nós. Tem um ponto de fusão relativamente alto (82 a 85°C) e cria uma proteção muito resistente. É um material que merece maior estudo. Foi usado por antigos restauradores em tratamento de superfícies. Ver estudos do NTPR.

9.3 - Ceras minerais

Do petróleo:

- **Parafinas ➔** Obtidas através de destilação do petróleo;
- **Ceras microcristalinas ➔** Obtidas através de solventes;

  As ceras microcristalinas têm ponto de fusão mais elevado e por isto são usadas por alguns restauradores em objetos não sujeitos ao intemperismo.

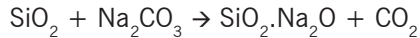
Outras:

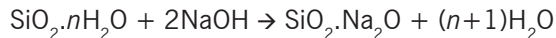
- **Ceras minerais extraídas da lignita.**
- **Ozocerita** extraída de depósitos betuminosos ➔ Fervura do terreno betuminoso. A ozocerita purificada é denominada de **ceresina**.

10 - CONSOLIDANTES E PROTETORES NÃO ORGÂNICOS

1.1 - Silicatos de sódio e potássio

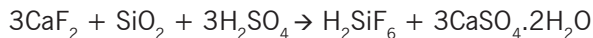
Conhecidos desde a mais remota antiguidade (*vidro líquido*) ➔ Obtido por fusão de areia de quartzo com carbonato de sódio (ou potássio) a 1400°C;

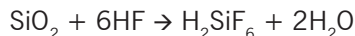
$$SiO_2 + Na_2CO_3 \rightarrow SiO_2.Na_2O + CO_2$$

ou reagindo sílica hidratada com soda cáustica (ou potassa):

$$SiO_2.nH_2O + 2NaOH \rightarrow SiO_2.Na_2O + (n+1)H_2O$$

- É um consolidante efetivo, mas sua aplicação trouxe alguns problemas famosos na história da restauração.

1.2 - Compostos de fluorsilicatos

Uso proposto desde 1883 por Kessel. Ácido fluorsilícico (H_2SiF_6)
Obtenção:

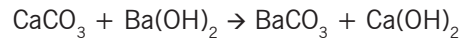
$$3CaF_2 + SiO_2 + 3H_2SO_4 \rightarrow H_2SiF_6 + 3CaSO_4.2H_2O$$

ou reagindo o ácido fluorídrico com quartzo pulverizado:

$$SiO_2 + 6HF \rightarrow H_2SiF_6 + 2H_2O$$

Provocam uma espécie de esmalte superficial que não permite restauração.

- Variações de fluorsilicato de Mg e Zn foram utilizadas em restauração de alguns monumentos com resultados pouco positivos, especialmente por causa da técnica de aplicação.

1.3 - Sais de bário e de estrôncio

Soluções utilizadas há muito tempo. Uma das primeiras tentativas ➔ Viollet-le-Duc.
Princípio coerente ➔ Transformar o carbonato de cálcio em carbonato de bário **insolúvel**.

$$CaCO_3 + Ba(OH)_2 \rightarrow BaCO_3 + Ca(OH)_2$$

Lewin propõe uma solução para acelerar a reatividade do processo adicionando uréia e glicerina.

IX. BIBLIOGRAFIA SOBRE MATERIAIS

GERAL

CARBONARA, Giovanni (org). *Trattato di restauro architettonico*. Torino: UTET, 1996. 4v.

GIUFFREDI, Augusto et al. *Il cantiere di restauro Materiali – tecniche e applicazioni*. Firenze: Alinea, 1998. 268p. Il.

MONTAGNI, Claudio et al. *Materiali per il restauro e la manutenzione*. Torino: UTET , 1999. 634p., il.

MENICALI, Umberto. *I materiali dell'edilizia storica*: *Tecnologia e impiego dei materiali tradizionali*. Roma: La nuova italia scientifica, 1992. 286p. Il.

TORSELLO, B.P., MUSSO, S.F. *Tecniche di restauro architettonico*. Torino: Utet, 2000. 1172p. il, 2v.

TERRA: ADOBES, TAIPAS E CERÂMICA

ASHURST, John e ASHURST, Nicola. *Mortars, plasters and renders.* Exeter, U.K.: Gower Technical Press, 1990. 86p. il. v.2 da série *Practical building conservation*.

ASSOCIAÇÃO CENTRO DA TERRA. *Arquitectura de terra em Portugal*. Lisboa: Argumentum, 2005. 299p. il.

BALDERRAMA, Alejandro Alva et al. (org). *Em estudio y la conservación de la cerámica decorada en arquitectura.* Roma: ICCROM, 2003. 164p. il.

COMUNE DI VENEZIA. *Il mattone di Venezia: Contributi presentato al concorso di idee su patologia, diagnosi e terapia del mattone di Venezia*. Venezia: CNR, 1982. 475p. Il.

DOAT, P. HAYS, A., HOUBEN, H., MATUK, S., VITOUX, F. *Construire en Terre.* Paris*:* CRATerre, Éditions Alternatives, l985. 287p., il.

DGEMN. 7ª Conferência Internacional sobre Conservação de Arquitetura de Terra. Silves (Portugal): 24-29 de outubro, *Anais...* 1993. 659p., il.

FACINCANI, Enzo. *Tecnologia ceramica: i laterizi*. Faenza: Faenza Editrici, 1986. 255p. il.

GETTY CONSERVATION INSTITUT, 6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture – Adobe 90. Las Cruces, New Mexico (USA): GCI, October 14-19, *Anais...* 1990. 469p. Il.

BISCONTIN, Guido e MIETTO, Daniela (org). *La superficie dell'architettura: il cotto.Caracterizzazione e trattamenti.* Congresso de estudos de Bressanone, 1-3 de junho de 1992. Padova: Progetto Editore, 1992. 813p. il.

HOUBEN, Hugo, GUILLAUD, Hubert. *Traité de construction en terre.* Paris: Parenthèses, 1989. 355p., il.

JEANNET, Jacky et al. *Le pisé, patrimoine restauration technique d'avenir*. CRÉER, Nonette, France. Réunion internationale d'experts sur la conservation de l'architecture de terre, 5ª, Roma, 22-23/10/87, ICCROM/ CRATerre. Grenoble: Guirimand, l988,110p., il.

SANTIAGO, Cybèle Celestino. *O solo como material de construção*. Salvador: EDUFBA, 1996. 78p. il.

VIÑUALES, Graciela Maria. *Restauración de arquitectura de tierra*. Santa Maria ded Tucumán (Argentina): Universidad Nacional de Tucumán, s/d. 66p. Il.

UNESCO/ICCROM. *El adobe,* Simposio Internacional y Curso, PNUD/UNESCO/ ICCROM. Peru: Industrial Grafica SA. l985, 155p. il.

ARGAMASSAS

ASHURST, John. *Mortars, plasters and renders in conservation*. London: Ecclesiastical Architects'and Surveyors' Association, 1984. 54p., il.

ASHURST, John e ASHURST, Nicola. *Mortars, plasters and renders.* Exeter, U.K.: Gower Technical Press, 1990. 86p. il. v.3 da série *Practical building conservation*.

D'ORAZIO, Marco. *Gli intonaci e l'umidità - Guida ai sistemi per difendersi*. Milano: BE-MA Editrice, 1999. 101p. il.

FEIFFER, Cesare. *La conservazione delle superficie intonacate. Il metodo e le tecniche.* Milão: Skira, 1997. 309p. il.

ICCROM. Mortars, cements and grouts used in the conservation of historic buildings. Symposium, 3-6,nov. 1981. Roma. *Anais...* Roma: ICCROM. 1982. 414p., il.

MICOCCI, Ferruccio e PULCINI, Giorgio. *Gli intonaci*. Roma: Nuova Italia Scientifica, 1994. 128p. il. 4ª ed.

PALESTRA, Giovanni Walter. *Intonaco: una superficie di sacrificio*. Milão, Etaslibri, 1995. 287p. il.

RILEM. *Le malte nell'evoluzione del processo costruttivo: passato, presente, futuro*. Turim: IV Dipartimento della Cità di Torino, 1988. 171p., il.

SANTIAGO, Cybèle C. *Aditivos orgânicos em argamassas antigas*. Dissertação de mestrado do PPGAU da UFBA (não publicada). Salvador: 1991. 70p. e anexos, il.

SOCIETÀ CHIMICA ITALIANA*. L'intonaco: storia, cultura* e *tecnologia*. Pádua: Libreria Progetto Editore, Convegno di Studi di Bressanone, 24-27 de jun., *Anais*..., 1985.

TUFANI, Angela. *Le malte nel restauro - studi, ricerche* e *operatività.* Todi: EDIARTE, Col. Arte e Restauro, v.6, 1987. 112p., il.

VEIGA, Maria do Rosário et al. *Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos*. Lisboa: LNEC, 2004. 126p. il.

UMIDADE

CIGNI, Giuseppe. *Murature degradate dall'umidità e dall' inquinamento ambientale.* Roma: Kappa,1977. 131p., il.

DE GUICHEN, Gael. *Climat dans le musée.* Roma: ICCROM, 1980. il.

D'ORAZIO, Marco. *Gli intonaci e l'umidità - Guida ai sistemi per difendersi*. Milano: BE-MA Editrice, 1999. 101p. il.

HENRIQUES, Fernando M. A. *Humidade em paredes*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1994. 168p., il.

MASSARI, Giovanni. *L' umidità nei monumenti.* Roma: ICCROM/Facoltà di Architettura, 1977. 57p., il.

MASSARI, Giovanni & Ippolito. *Risanamento igienico dei locali umidi.* Milano: Ulrico Hoepli, 1981. il.

PEDRA & DEGRADAÇÃO DOS MATERIAIS POROSOS

AIRES-BARROS, Luís. *As rochas dos monumentos portugueses – Tipologias e patologias.* Lisboa: IPPAR, 2001. 2v. 535p. il.

AMOROSO, G. G., FASSINA, Vasco. *Stone decay and conservation.* Amsterdã: Elsevier, 1983. 453p., il.

AMOROSO, Giovanni G. *Il restauro della pietra nell'architettura monumentale*. Palermo: Dario Flaccovio, 1995.

CANEVA, Giulia, NUGARI, Maria Pia e SALVADORI, Ornella. *Biology in the conservation of works of art*. Roma: ICCROM, 1991. 182p. il.

COSTA, Joaquim Botelho. *Estudo e classificação das rochas por exame macroscópico*. 9ª ed. Lisboa, Calouste Gulbenkian, 1998. 196p. il.

DEL RICCIO, Agostino. *Istorie delle pietre*. Organizado por Raniero Gnoli e Attilia Sironi. Torino: Umberto Allemandi, 1996. 253p. Il.

DOMASLOWSKY, Wieslaw et al. *La conservation préventive de la pierre.* Trad. WOSZCK, Irena. Paris: UNESCO, 1982.

LAZZARINI, Lorenzo. *La pulitura dei materiali lapidei da costruzione e scultura.* Pádua: CEDAM, 1981. 138p., il.

LAZZARINI, Lorenzo, TABASSO, Mariza Laurenzi. *Il restauro della pietra*. Pádua: CEDAM,1986. 320p, il.

LAZZARINI, Lorenzo et al. *The deterioration and conservation of stone.* Veneza: UNESCO, 1983.

NIMIS, Pier Luigi, PINNA, Daniela, SALVADORI, Ornella. *Licheni e conservazione dei monumenti*. Bolonha: CLUEB, 1992. 165p. il.

POPP, José Henrique. *Geologia Geral.* 5ªed. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 376p. il.

ROSVALL, Jan. *Introduction to air pollution and conservation*. Amsterdã: Elsevier, 1988.

ROCCHI, Paolo. Materiali lapidei: sistema di preparazione e pulitura superficiale. La conservazione dei monumenti. 1º Corso di informazione ASSIRCO*.* Perugia, 6-7-8 de novembro de 1979. *Anais...* Roma: Kappa, 1981. p.11-23, il.

TORRACA, Giorgio. *Porous building materials - Material science for architectural conservation*. Roma: ICCROM, 1982. 145p, il.

METAIS

NOTA: O capítulo sobre metais está baseado, na sua maior parte, em texto da prof. Cybèle C. Santiago obtido de anotaçòes do curso do Prof. Martin Weaver na Columbia University.

ASHURST, Jonh & Nicola. *Practical building conservation*. English Technical Heritage Handbook, Vol.4. Inglaterra: Gower Technical Press. 1ª, 1988. 129p., il.

BLACK, James (org). *Recent advances in the conservation and analysis of artifacts.* Londres: Summer Schools Press, 1987. 415p., il

LEONI, Massimo. *Elementi di metallurgia applicata al restauro delle opere*

d'arte. *Corrozione e conservazione dei manufatti metallici.* Florença: Opus Libri, 1984. 126p, il.

PLENDERLEITH, Harold J., WERNER, A.E.A. *Il restauro e la conservazione degli oggetti d'arte e d'antiquariato*. Trad. do inglês por Laura Dago. Milão: Mursia, 1986. 279p., il.

SHREIR, L.L. *Corrosion*. Londres: 1975. vol. 2. (Corrosion Control)

MADEIRAS

BAUER, L. A. Falcão. *Materiais de construção.* Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos, 2v, 1988. 812p., il.

CANEVA, G. NUGARI, M. P., SALVADORI, O. *Biology in the conservation of works of art*. Roma: ICCROM, 1991. 182p., il.

CECCOTTI, Ario, MARRADI, Paolo. Nuove tecnologie negli interventi di recupero delle antiche capriate di legno: materiali e metodi. In. Il recupero degli edifici antichi manualistica e nuove technoligie, 29-30 ottobre, 1993. Napoli: Clean, *Anais...* 1994. p.514-536. 663p. il.

I.P.T. *Manual de conservação de madeiras.* São Paulo: Secretaria de Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. 2v., 1986. 708p., il.

LIOTTA, Giovanni. *Gli insetti e i danni del legno - Problemi di restauro*. Florença: Nardini, 1991. 151p., il.

NIMIS, P. L., PINNA, D., SALVADORI, O. *Licheni e conservazione dei monumenti*. Bolonha: CLEUB Bologna, 1992. 164p., il.

PETRUCCI, Eládio G. R. *Materiais de construção.* Rio de Janeiro: Globo, 1987. 8ª, 435p., il.

TAMPONE, Gennaro (Org.). *Il restauro del legno*. Florença: Nardini, 2º Congresso Nazionale Restauro del Legno. *Anais...*, 1989. 2v. il.

PRODUTOS QUÍMICOS DA CONSERVAÇÃO/RESTAURAÇÃO

AMOROSO, Giovanni G., FASSINA, Vasco. *Stone decay and conservation*. Amsterdã: Elsevier, 1983. 453p., il.

CRAFTS COUNCIL. *Adhesives and coatings* - Book 3. Londres: Crafts Council, 1984. 135p., il.

HORIE, C.V. *Materials for conservation - Organic consolidants, adhesives and coatings*. Londres: Butterworth & Co. 1987. 281p., il.

ICCROM. *Methods of evaluating products for the conservation of porous building materials in monuments*. Roma: Colóquio Internacional 19-21 jun. *Anais...* 1995.

MANO, Eloisa Biasotto. *Polímeros como materiais de Engenharia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1990. 197p., il.

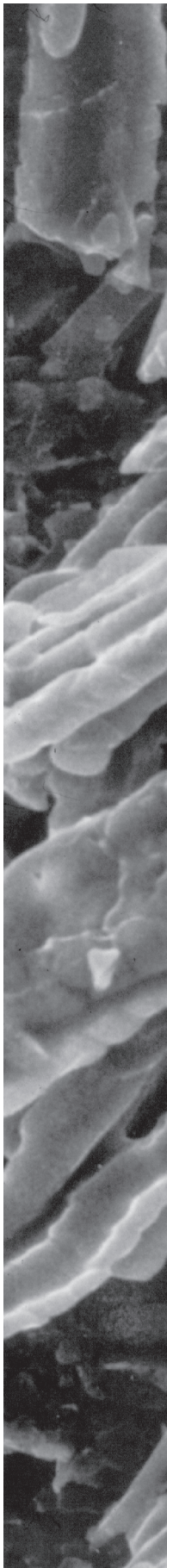
MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane. *Ancient binding media, varnishes and adhesives*. Trad. J. Bridgland, S. Walston e A. E. Werner. Roma: ICCROM, 1985. 115p., il.

MONTAGNI, Claudio. *Materiali per Il restauro e La manutenzione*. Torino: UTET, 2000. 634p. il

RICCIO, Ângela (Org.). *Chimica e restauro*. Veneza: Marsilio, 1985. 163p., il.

TORRACA, Giorgio. *Solubilidad y disolventes en los problemas de conservación*. Roma. ICCROM, 1981. 59p. il.

PARTE 2

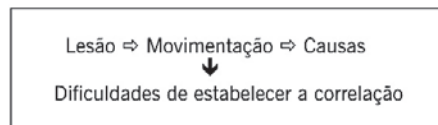
ESTRUTURA

X. LESÕES NOS EDIFÍCIOS

Fa prima il trattato delle cause generatrici delle rotture de' muri, e poi il tratatto de' rimedi separato. **LEONARDO DA VINCI** [9].

1 - LESÕES PROVENIENTES DE TENSÕES

- **Fissuração** ➔ Solução de continuidade, ruptura do material além do seu limite elástico;
- **Deformação** ➔ Modificação da forma primitiva do sólido.

1.1 - Diagnóstico e metodologia de observação

Lesão ⇨ Movimentação ⇨ Causas
🡣
Dificuldades de estabelecer a correlação

Resolução dos problemas ➔ Intuição – Ciência.
Operador ➔ Estrutura mental bem formada. *Forma mentis* plasmada na boa preparação científica e na experiência prática.

1.1.1 - Causas em geral
- Movimentos de fundações (cedimentos); subsidência do terreno.
- Movimentos dos muros em elevação.

1.1.2 - Método de indagação
- Informações históricas sobre fases da evolução do edifício e intervenções (anamnése);
- Documentação ➔ Fotografias, desenhos e cadastros das lesões;
- Sondagens;
- Controle de progressão ➔ "Espias", sinais de lápis, vidros (ver técnica do NTPR), massa de gesso, flexímetros, extensímetros, deformômetros;
- Definição do quadro fissurativo e do quadro de curvas isostáticas. Apoio do computador e dos sistemas de "elementos finitos".

1.2 - Exame do sólido submetido a deformações elásticas

1.2.1 - Solicitação e ruptura de materiais submetidos a esforços

Os diversos casos (Fig. 1):

- Tração em uma só direção ➔ Aumento na direção ***X*** é inversamente proporcional ao **módulo de Young (E)**;

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} \qquad \text{Logo,} \qquad E = \frac{\sigma_x}{\varepsilon_x}$$

ε = elongamento, σ = tensão, E = módulo de Young ou módulo de elasticidade.

A contração lateral **(-)** é diretamente proporcional ao **coeficiente de Poisson**, ($\frac{1}{m}$). O número m varia, de acordo com o material, de 2,5 a 4 (para o concreto, de 6 a 10).

$$\varepsilon_y = \varepsilon_z = -\frac{\sigma_x}{E}.\frac{1}{m} \qquad \text{e} \qquad \varepsilon_x = \varepsilon_y = -\frac{\sigma_z}{mE}$$

- Tração em duas direções;
- Compressão em uma direção;
- Compressão em duas direções ortogonais;
- Outras variações ➔ Cada uma com suas respectivas fórmulas.

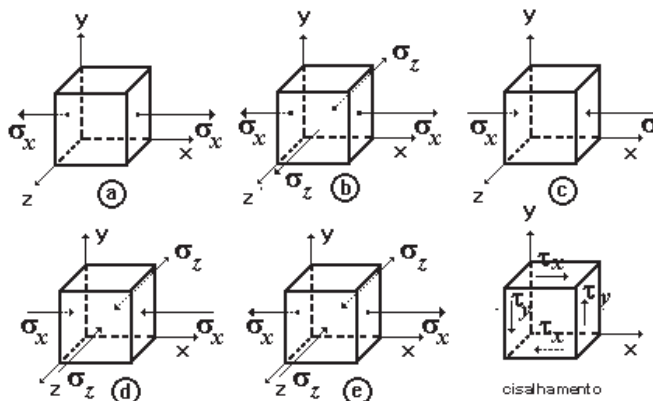



Fig. 1

1.2.2 - Tensões tangenciais ➔ Cisalhamento

No caso das forças não serem aplicadas perpendicularmente às faces do prisma teórico, mas sim paralelamente a estas, tais tensões são consideradas cisalhantes (Fig. 2).
Os diagramas, a seguir, explicam as lesões a 45°

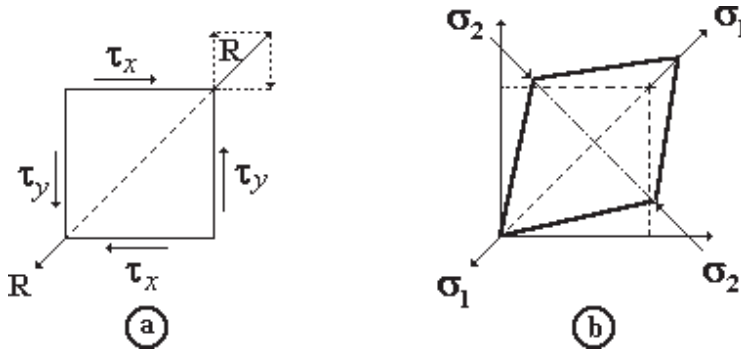



Fig. 2 – Diagrama do esforço de cisalhamento

$R = \tau_x.\sqrt{2} = \tau_y.\sqrt{2}$ deste modo: $\sigma_1 = \frac{\tau_x \sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \frac{\tau_y \sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \tau_x = \tau_y$

1.2.3 - Ruptura nos sólidos planos

Para efeito de análise, considera-se que o sólido tem somente duas dimensões (aquelas do plano contido no seu centro) (Fig. 3).

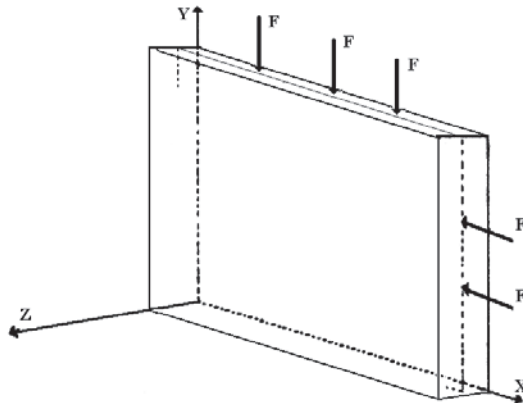



Fig. 3

Conceito de **tensões elementares**
Tensão principal e direção principal ➔ RUPTURA.

1.2.4 - Gráfico de tensões em um muro (Fig. 4).

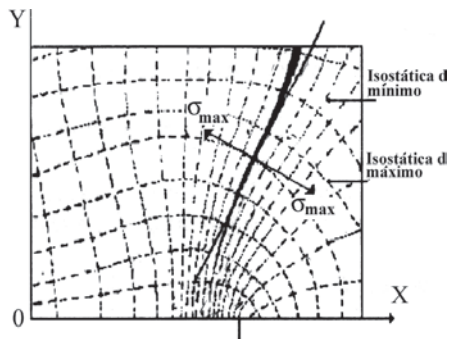



Fig. 4

1.3 - Diretriz de fissuração

a) Ao longo da mesma isostática de mínimo;
b) Interrompida ➔ Com trechos ao longo de diversas isostáticas de mínimo, sem se juntarem;
c) Idem como em (b), mas ligando-se entre si em zig-zag ➔ Neste caso a fissura não é ***normal*** à tensão máxima.

1.4 - Estudo de movimentos deformantes

Tipo | Absoluto
| Relativo | Rígido
| Deformante (flexão)

Seis movimentos elementares ➔ 1 vertical, 2 horizontais e 3 de rotação.

1.5 - Cedimento de fundação

- Translação (força ativa de arrasto);
- Rotação (momento de arrasto).

1.5.1 - Translação horizontal (Ver Fig. 9 a 15)

Deslocamentos exclusivamente no plano horizontal (Fig. 5):

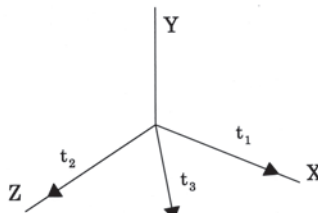
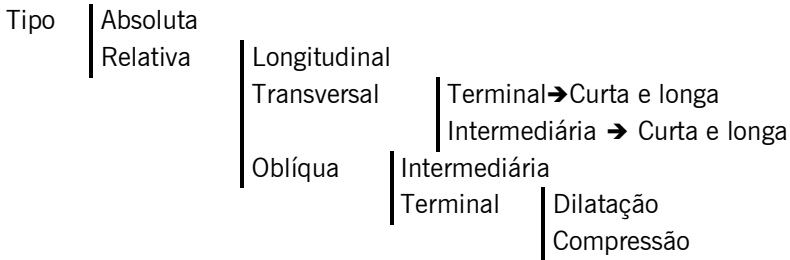
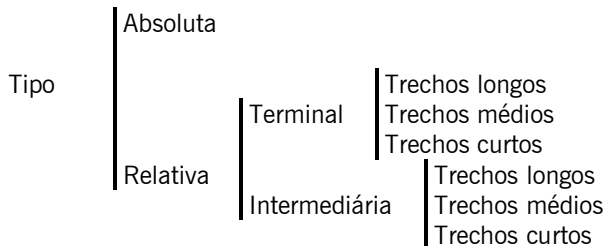



Fig. 5

- Translação relativa longitudinal **(*t_1*)** na direção do eixo dos X (Fig. 9 e 10); Lesões ➔ Verticais na fratura do terreno com lesões ***de gola*** à direita e à esquerda;
- Translação relativa oblíqua **(*t_2*)** ➔ Composição de movimento longitudinal e transversal (Fig. 14 e 13);
  Dois casos de componentes ➔ Dilatação e contração;
- Translação relativa transversal **(*t_3*)** na direção do eixo dos Z (Fig. 11, 12 e 13).

1.5.2 - Translação vertical ➔ Os casos mais comuns:

- Translação vertical relativa ➔ Dois dos seus diversos casos são rupturas ***em gola***, a depender do comprimento da parte comprometida do muro em relação à sua altura (Fig. 16 a 19). Quando intermediária ➔parábola (Fig. 20).

- Terminal ➔ Longo $\frac{l_c}{h} \rangle \frac{1}{2}$; médio $\frac{l_c}{h} = \frac{1}{2}$; curto $\frac{l_c}{h} \langle \frac{1}{2}$;

l_c= comprimento do cedimento; h= altura do muro

1.5.3 - Translação inclinada (vertical + horizontal)

Tipos
- Absoluta
- Relativa
  - Longitudinal ***(t_1+ t_2)***
  - Transversal ***(t_2 + t_3)***
  - Oblíqua ***(t_1 + t_2 + t_3)***

1.5.4 - Rotação

Pode ser fenômeno principal ou derivado da translação. A rotação é secundária quando ela desaparece temporariamente para reaparecer com sinal contrário (Fig. 6, 21, 22, 23 e 24).

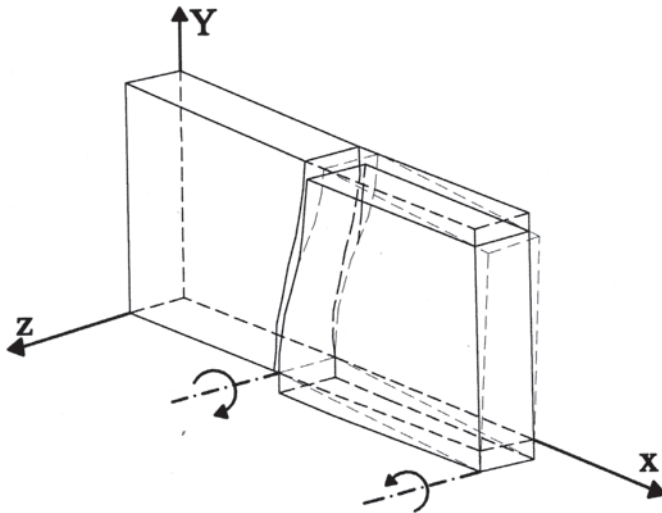



Fig. 6

1.5.5 - Casos dos movimentos em conexões de muro em **L** em **T** e em ***cruz***.

1.5.6 - Observações sobre estrutura geológica do terreno com apoio da geotecnia.

- O edifício está sobre terreno frágil?
- O edifício está sobre formação rochosa?
- Como são os estratos de terreno sob o estrato de apoio?
- No caso de terrenos frágeis, observar a vizinhança de cursos d'água;
- No caso de compressibilidade dos terrenos (em geral argilosos), saber as implicações de carga e o tempo decorrido para verificar se cessou o fenômeno;
- Mesmo no caso de fundação sobre rocha, verificar fraturas e descontinuidades.

Um exemplo interessante: Catedral da Cidade do México.

1.6 - Cedimentos (depressão) das estruturas em elevação

Verticais	Acomodação Esmagamento Flambagem
Horizontais	Empuxos de arcos, abóbadas, terras e defeitos de telhados Depressão de estruturas horizontais

Perturbações vibratórias ➔ Estão ligadas a ambos os casos.

1.6.1 - Estruturas verticais (de apoio):

a) Acomodação do muro:

As paredes sofrem translação vertical durante ou depois da obra concluída.
Causas gerais ➔ Argamassas das alvenarias ou terreno;
Analise o problema das argamassas nas intervenções de reforço ➔ Retrações e maneira de evitar com aditivos de expansão.

b) Esmagamento:

Causado por sobrecarga e/ou peso próprio.
Causas gerais ➔ Espessura do muro, abaixamento da cota de um ponto, grande altura, degeneração da argamassa etc.
Peculiaridades do quadro fissurativo ➔ Lesões múltiplas verticais ou ***em cabeleira*** (Fig. 7).

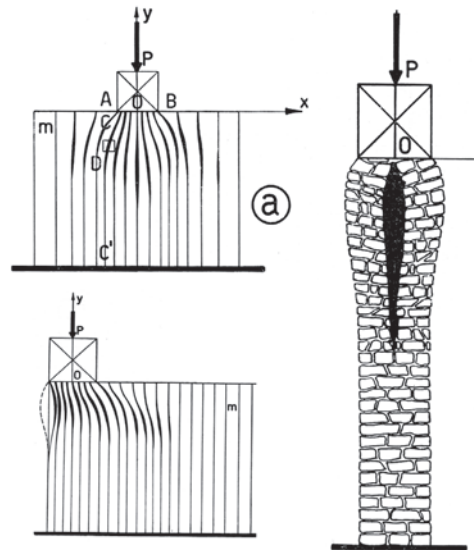



Fig. 7 – Esmagamento

c) Flambagem ou presso-flexão:

Em muitos casos ligada ao esmagamento. De maneira geral, considera-se que acontece quando ***h > 15*** vezes a menor dimensão da secção (Fig. 8).

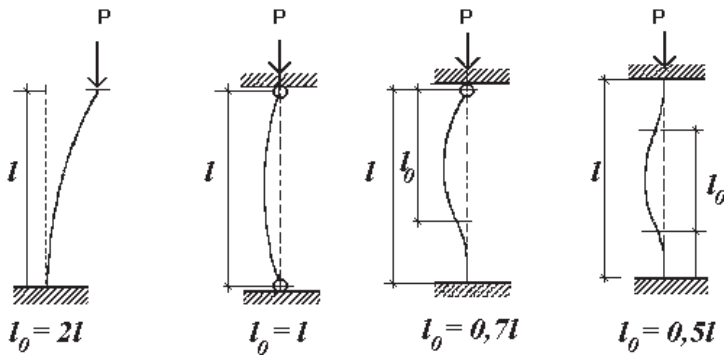



Fig. 8

Assim, em função da fórmula de Euler, obteremos a carga de segurança através de:

$$P_0 = \frac{\pi^2 E J_{min}}{l_0^2 . s}$$

Onde:
P_o = Carga crítica
E = Módulo de elasticidade
J_{min} = Momento de inércia na direção da secção mínima
l_o = Comprimento teórico da peça
s = Fator de segurança

1.6.2 - Estruturas horizontais

As mais expostas nas suas duas variedades ➔ Planas e arqueadas:

a) Estruturas arqueadas ➔ Deformadas, em geral, pelo cedimento dos apoios e reacomodação espontânea das alvenarias (argamassas) (Fig. 25 e 26).
Deformações:
I) Afastamento dos apoios com abatimento da arquivolta;
II) Aproximação dos apoios com levantamento da arquivolta.
Efeitos colaterais dos sistemas arqueados.

b) Estruturas planas ➔ Causas principais da deformação ➔ Esforços de flexão.
No caso da madeira, material básico deste tipo de estruturas nos edifícios antigos, temos: Degradação das fibras, *emurchecimento*, rompimento por cargas excessivas, ação de xilófagos e fungos etc.
As perturbações vibratórias que afetam ambos os sistemas, por causa de sua sutileza e pelo descaso das autoridades e dos sistemas legislativos, tornam-se um problema sério. Só tomam conhecimento quando a escala é de terremoto. Os alemães, por exemplo, determinam na DIN os limites, e nós temos que adotar uma política urbana especial para os centros históricos no particular.
As referências nos documentos internacionais.

2 - FIGURAS (baseadas em Di Stefano e Mastrodicasa)

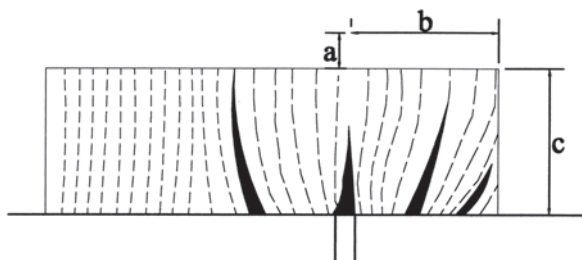



Fig. 9

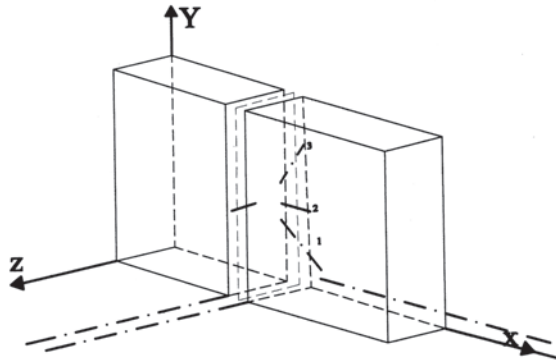



Fig. 10

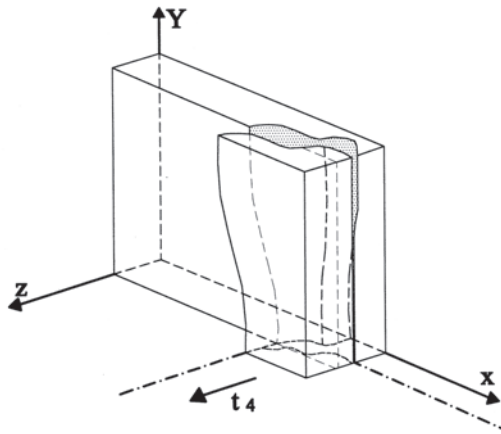



Fig. 11

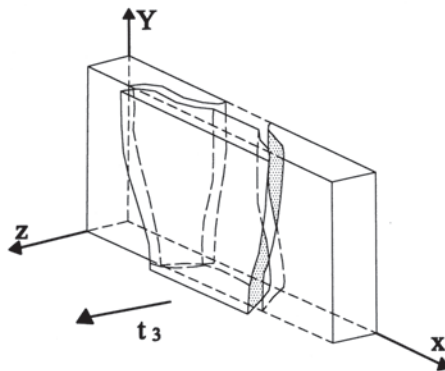



Fig. 12

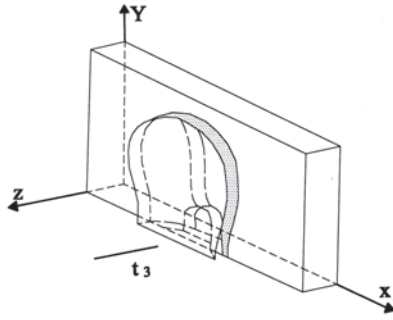



Fig. 13

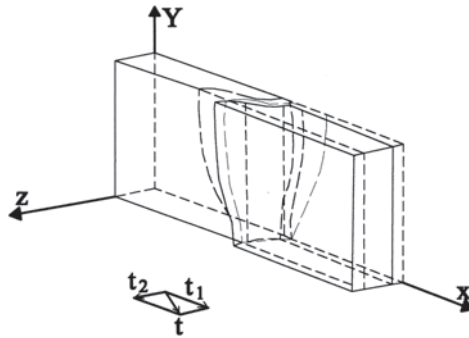



Fig. 14

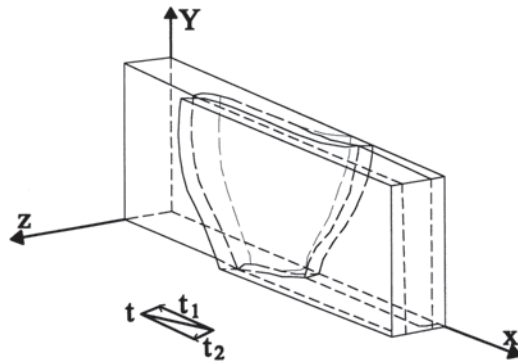



Fig. 15

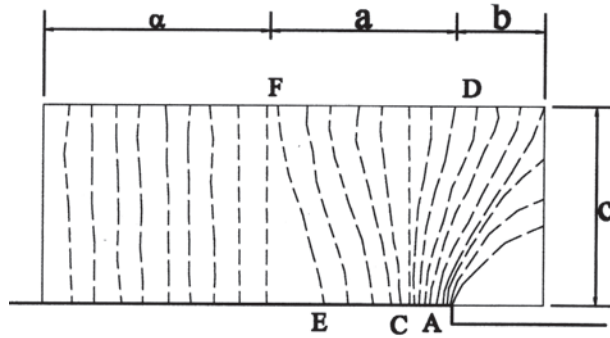



Fig. 16 (a)

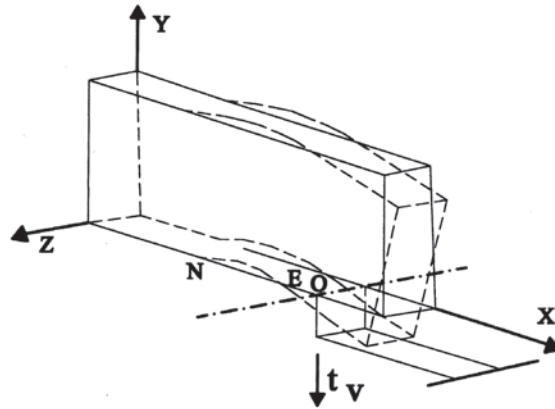



Fig. 16 (b)

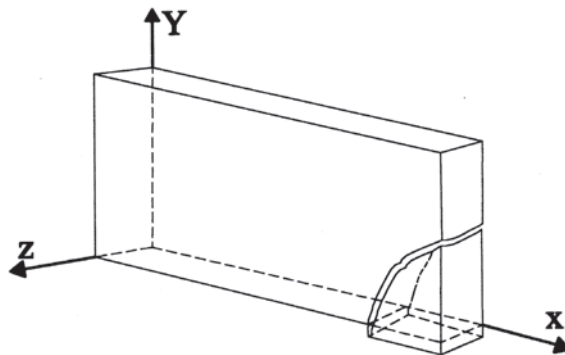



Fig. 17

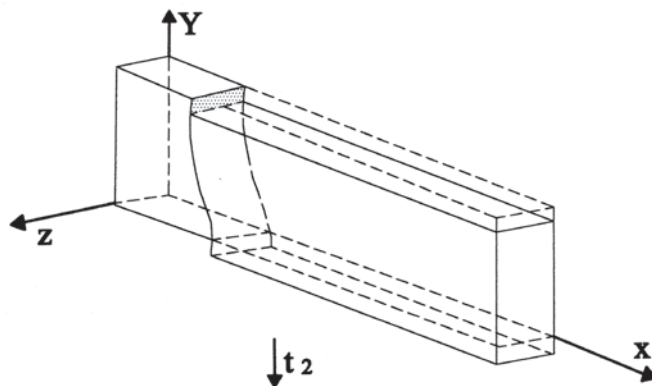



Fig. 18

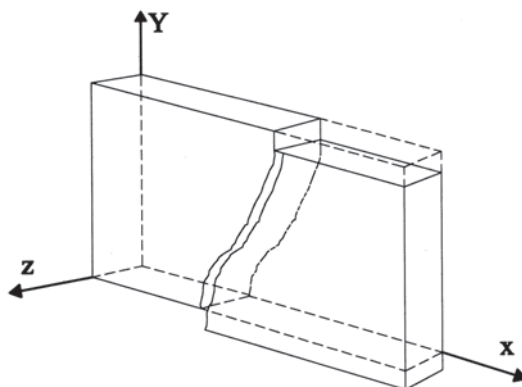



Fig. 19

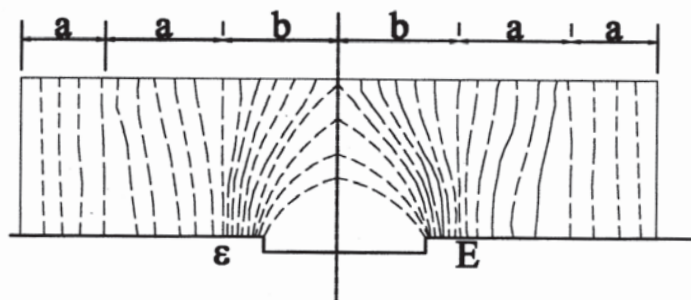



Fig. 20

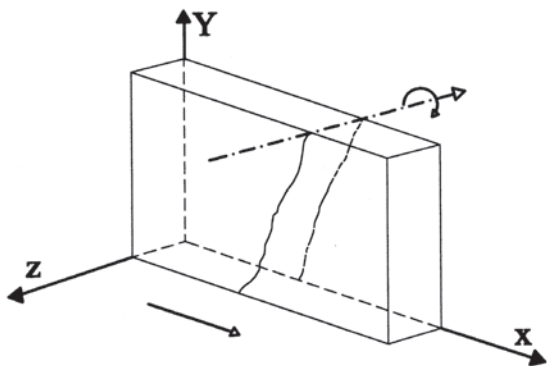



Fig. 21

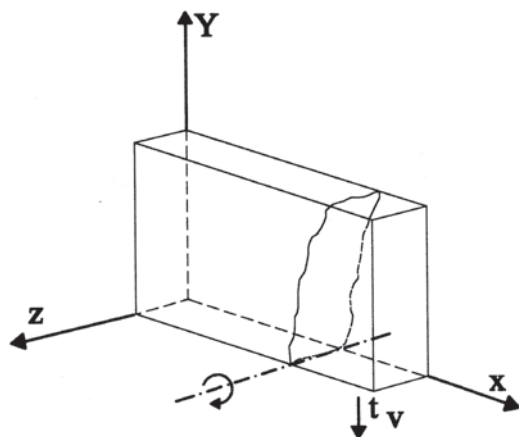



Fig. 22

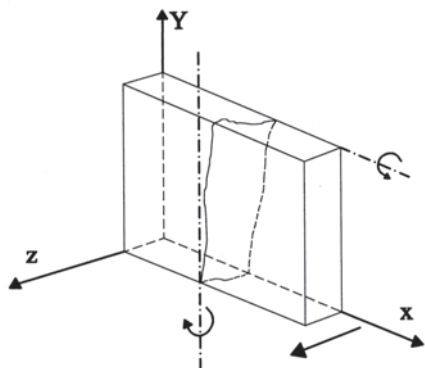



Fig. 23

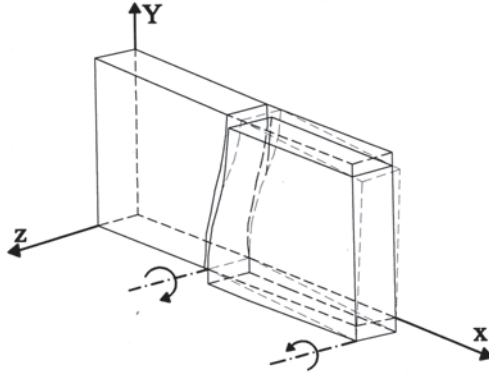



Fig. 24

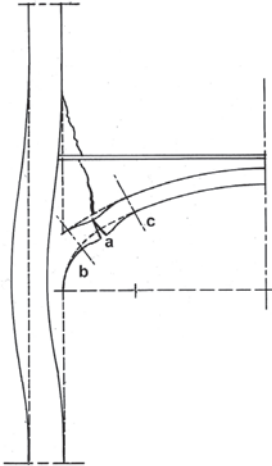



Fig. 25

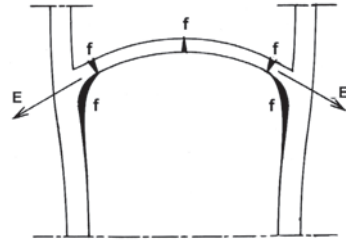



Fig. 26

XI. ESCORAMENTO

***Per evitare inoltre che il terreno ci crolle sulla testa, dovremo sistemare dei sostegni e poi costruire cobertura a volta.* ALBERTI** [10].

1 - ASPECTOS GERAIS

- Posterior ao diagnóstico (se possível);
- Tema relacionado com a **consolidação**;
- Tipos:
  a) Provisória;
  b) Definitiva ➔ Feita com elegância e bom gosto, preferivelmente com elementos relacionados com a própria intervenção;
- Considerações básicas ➔ Eficácia e economia;
- Algumas normas:
  a) Cuidado na escolha dos materiais;
  b) Dotação de equipamentos necessários à execução;
  c) Boa mestrança ➔ Responsável e consciente;
  d) Arquiteto ou engenheiro assistente da operação;
  e) Fechamento do canteiro e zona de influência ao público;
  f) Entrosamento da equipe de trabalho com o executor;
  g) Plano de execução dos trabalhos com fases e etapas;
  h) Acompanhamento com sondagens e monitoração para eventuais mudanças de orientação;
  i) Grande cuidado na execução.

2 - ESCORA

2.1 - Definição e materiais a serem utilizados

2.2 - Funções (Fig. 1 e 2)

- Apoio vertical ou suporte
- Retenção ou contraventamento
- Apoio vertical e contraventamento

2.3 - Condições da escora (Fig. 3)

a) Rígida vinculação com a **cabeça** de apoio e o **pé**;

b) Apoio no pé capaz de absorver as cargas sem deformação;

c) Estável ao **esmagamento** e à **flambagem**;

d) Material de pouca diferença térmica e higroscópica do material da fábrica;

e) Escoras recebendo só cargas axiais.

2.4 - Ação localizada das escoras (Fig. 4)

Caso do muro resistente e do muro degradado ou fatigado.

2.5 - Apoio no terreno [Fig. 5 – (a), (b) e (c)]

- Madeira;
- Suportes de concreto armado ou alvenaria;
- Estacas de madeira ou concreto armado.

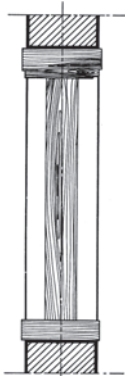



Fig. 1 – Escora normal

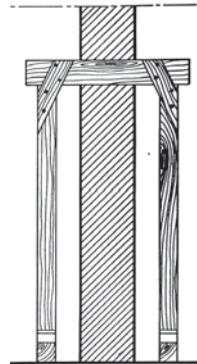



Fig. 2 – Escora externa

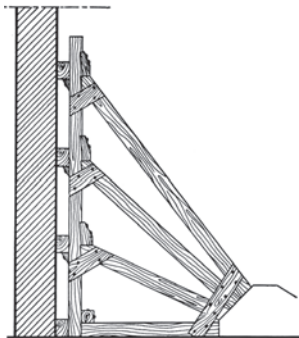



Fig. 3 – Escoramento inclinado

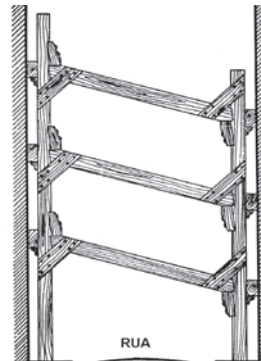



Fig. 4 – Contraventamento em outro muro

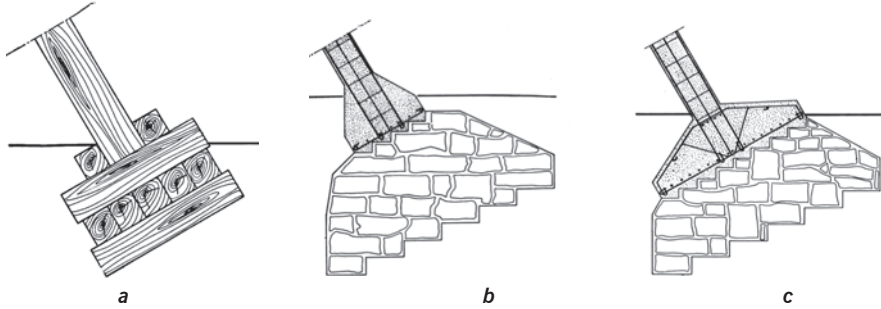



Fig. 5 – Pé de escora toda em madeira (a) ou de concreto armado, com base de pedra bruta (b,c)

2.6 - Apoio e vinculação da cabeça da escora

- Casos simples de apoio vertical ➔ Descarga;
- Método progressivo de escora inclinada;

  Fases:

  ❶ Concretar até o paramento vertical;

  ❷ Perfurar o apoio da cabeça;

  ❸ Concretar até uns 15cm da parte superior;

  ❹ Apertar com tijolos.

2.7 - Verificação da solicitação máxima admissível à flambagem e ao esmagamento

2.8 - Atrito nos escoramentos laterais (Fig. 6)

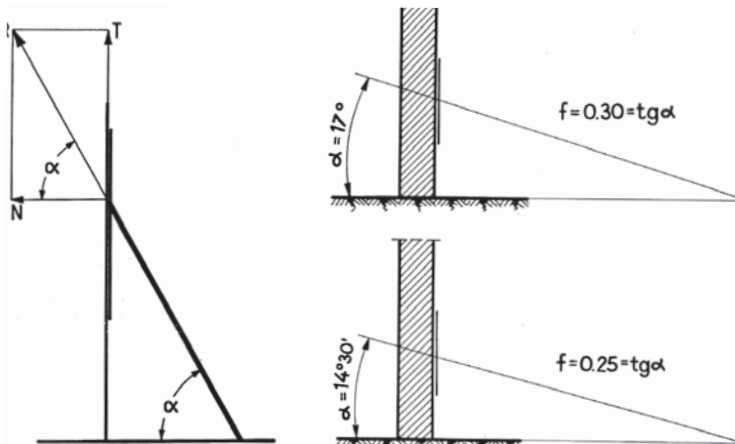



Fig. 6 – Ângulos de atrito sobre o muro

Coeficientes usuais de atrito:

ORDEM	MATERIAL	***f***
1	Ferro sobre ferro	0.30
2	Madeira sobre madeira	0.35
3	Ferro sobre madeira	0.40
4	Ferro sobre alvenaria	0.45
5	Madeira sobre alvenaria	0.50
6	Alvenaria sobre alvenaria	0.75
7	Alvenaria sobre terreno	0.50

Sendo ***f*** o coeficiente de atrito, a condição de equilíbrio será:

$\mathbf{T} \leq f \times \mathbf{N}$

$\mathbf{T} = \mathbf{N} \times \mathbf{tg}\,\alpha$ e a condição é que $\mathbf{tg}\,\alpha \leq f$

Na prática, não devemos confiar no atrito, mas criar vinculações (Fig. 5).

2.9 - Verificação estática

- Diferentes responsabilidades | Grandes massas; Pequenas massas; Massas localizadas

- Pouco exata pelos fatores aleatórios, mas ajuda a estabelecer a previsão;
- Tabela de Sisto Mastrodicasa para estimativas de carga.

2.10 - Escoras reticuladas em concreto armado e perfis metálicos

Mais caras, porém menos deformantes e mais duradouras;
Evita o vandalismo e o furto de material, o que é frequente.

2.11 - Escoras de grandes massas

Tipos:
- Simples ➔ Madeira
- Feixe ➔ Madeira
- Reticulados ➔ Ferro e concreto

2.12 - Escoramento de empuxo de arcos e abóbadas

Escoramento cuidadoso e bem posicionado para o qual se utiliza a verificação de estabilidade gráfica. Eixo da escora passando pela intersecção da direção do empuxo com a do peso próprio do muro (isto quase nunca corresponde à zona de maior deformação).

2.13 - Avaliações de cargas sobre escoramento

Difícil fazer previsão. Se suportasse a carga total, o escoramento seria descomunal. Muros mesmo fatigados conservam resistência residual que podemos incluir na avaliação.

Critérios de avaliação: intuição e ciência:

a) Relação entre **cheios** e **vazios** acima da **cabeça** da escora;
b) Relação entre **cheios** e **vazios** abaixo da **cabeça** da escora;
c) Estado de coesão da alvenaria;
d) Natureza das lesões;
e) Extensão das lesões;
f) Gravidade das lesões.

Características de (a) e de (b):
Muros contínuos: sem aberturas ou com relação vazio/cheio < 1/8;
Aberturas raras: relação vazio/cheio > 1/8 e < 1/4;
Muitas aberturas: relação vazio/cheio > 1/4;
Pilares e colunas: podem ser substituídos temporariamente, total ou parcialmente.
Características de (c): muros **bons**, **regulares** e **maus**.

3 - ESCORAMENTO DE ARCOS E ABÓBADAS

Cuidados especiais (Fig. 7):

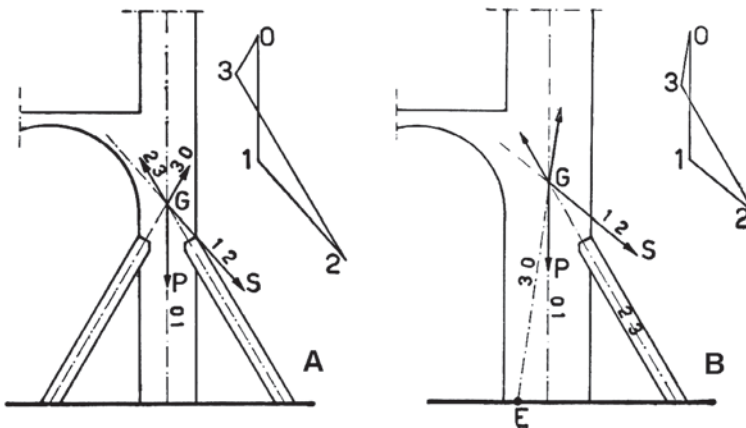



Fig. 7 – Posicionamento de escoras para contraventar empuxos de abóbadas

3.1 - Consolidação local

Diversas soluções ➔ Alvenarias, madeira e concreto armado;
O ferro quase nunca é usado isoladamente;
Exemplificação dos diversos tipos de escoramento.

4 - ESCORAMENTO METÁLICO

Análise crítica ➔ Vantagens e desvantagens;
Evita os problemas de roubo de material e ajusta com facilidade.

5 - ANDAIMES

Construção em países desenvolvidos ➔ A segurança e o conforto;
Qualidade do trabalho produzido ➔ Proteção do transeunte.

XII. VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE

a) Dos assoalhos

L'utilità della copertura è maggiore di quella di tutte le altre parti... Senza il tetto, il legname si deteriora, i muri vacilano, i loro fianchi si fendeno, a poco a poco l'intera costruzione va in rovina. **ALBERTI [11].**

1 - COBERTURA DE TELHAS DE BARRO

Produzem normalmente uma carga equivalente a P =0,55 a 0,80kN/m^2 . Devem ser acrescidas as cargas produzidas pelo vento e pelo peso próprio da estrutura (ver formulários técnicos).

1.1 - As tesouras

Podem ser verificadas em um bom manual técnico ou podem ser calculadas por meio de grafostática ou programas de computador. Normalmente recomenda-se para tesouras novas:

a) Tesouras simples ➔ Até vãos de 7m, distanciadas entre si de 2,5 a 4m
b) *Asnas de Paládio* ➔ De 7m a 12m de vão, com distanciamento similar

As massas específicas para madeiras estruturais variam de γ = 600kg/m^3 a 1100kg/m^3. As tabelas de tratados sobre estruturas de madeiras, normas e formulários indicam o valor de cada uma das espécies.

2 - FORROS E ASSOALHOS

Só uma questão de análise de carga

2.1 - Dados a serem obtidos do cadastro da estrutura existente (Fig. 1)

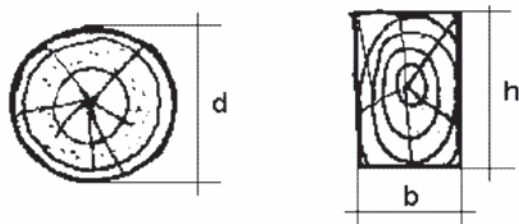



Fig. 1

Para a seção circular: Para a seção retangular:

$$I = \frac{\pi\, d^4}{64} = 0{,}05 d^4 \qquad W = \frac{\pi\, d^3}{32} = 0{,}1 d^3$$

e

$$I = \frac{bh^3}{12} \qquad W = \frac{bh^2}{6}$$

Onde I é a inércia da secão e W o módulo resistente da seção.

As vigas de madeiras são em geral consideradas como vigas simplesmente apoiadas e para o cálculo do momento máximo recai-se quase sempre no caso de carga uniformemente distribuída ou com uma ou duas cargas concentradas para o caso de vigas mestras.

Carga uniformemente distribuída ➔ $Md_{max} = \frac{(g+q)_d . l_0^2}{8}$

$(g+q)_d$ = Carga uniformemente distribuída por metro ➔ combinação última normal (estado limite último).

l_0= Vão teórico ➔ distância entre eixos dos apoios

2.2 - Valores médios usuais de resistência e rigidez de madeiras

Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}$ [1)] kg/m³	f_{c0} [2)] MPa	f_{t0} [3)] MPa	f_{t90} [4)] MPa	f_v [5)] MPa	E_{c0} [6)] MPa
Angelim araroba	*Votaireops araroba*	688	50,5	69,2	3,1	7,1	12876
Angelim ferro	*Hymenolobium spp*	1170	79,5	117,8	3,7	11,8	20827
Angelim pedra	*Hymenolobium petraum*	694	59,8	75,5	3,5	8,8	12912
Angelim pedra verdadeiro	*Dinizia excelsa*	1170	76,7	104,9	4,8	11,3	16694
Cedro amargo	*Cedrella odorata*	504	39,0	58,1	3,0	6,1	9839
Cedro doce	*Cedrella spp*	500	31,5	71,4	3,0	5,6	8058
Ipê	*Tabebuia serratifolia*	1068	76,0	96,8	3,1	13,1	18011
Jatobá	*Hymenaea spp*	1074	93,3	157,5	3,2	15,7	23607
Louro preto	*Ocotea spp*	684	56,5	111,9	3,3	9,0	14185
Maçaranduba	***Manilkara spp***	**1143**	**82,9**	**138,5**	**5,4**	**14,9**	**22733**
Oiticica amarela	*Clarisia racemosa*	756	69,9	82,5	3,9	10,6	14719
Sucupira	*Diplotropis spp*	1106	95,2	123,4	3,4	11,8	21724

[1)] $\rho_{ap(12\%)}$ é a massa específica aparente a 12% de umidade.
[2)] f_{c0} é a resistência a compressão paralela às fibras.
[3)] f_{t0} é a resistência à tração paralela às fibras.
[4)] f_{t90} é a resistência à tração normal às fibras.
[5)] f_v é a resistência ao cisalhamento.
[6)] E_{c0} é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.

Valores usuais para carregamentos de longa duração (Tabela 12 da NBR 7190/97)

Situações duradouras de projeto para carregamentos de longa duração ($k_{mod,1} = 0,7$) Madeira serrada (segunda categoria): $k_{mod,3} = 0,8$	
Classes de umidade (1) e (2) **Classes de umidade (3) e (4)***	$k_{mod} = 0,7 \times 1,0 \times 0,8 = 0,56$ $\mathbf{k_{mod} = 0,7 \times 0,8 \times 0,8 = 0,45}$*
$\gamma_{wc} = 1,4$ $\gamma_{wt} = 1,8$ $\gamma_{wv} = 1,8$	$f_{wN,k,12} = 0,70 f_{wN,m,12}$ $f_{wV,k,12} = 0,54 f_{wV,m,12}$ $f_{12} = f_{U\%}\left[1+\frac{3(U\%-12)}{100}\right]$
$f_{t0,d} = f_{c0,d}$ Coníferas: $f_{v0,d} = 0,12 f_{c0,d}$ Dicotiledôneas: $f_{v0,d} = 0,10 f_{c0,d}$ $E_{12} = E_{U\%}\left[1+\frac{2(U\%-12)}{100}\right]$	

(*) Nos climas mais úmidos (Salvador, Belém etc.), onde a umidade de equilíbrio da madeira é superior a 15%, usaremos classes de umidade (3) e (4).

2.3 - Análise de carga para encontrar *"g+q"*

Levar em conta, para o piso:

- Carga acidental regulamentada pelas normas ➔ (NBR 6120)**(q)**;
- Carga das tábuas de piso **(g)**;
- Peso próprio (PP) das vigas e barrotes **(g)**;
- Peso próprio (PP) do forro inferior (se houver) **(g).**

2.4 - Verificação da capacidade de resistência – Estado limite último

$$\rightarrow \boxed{\sigma = \frac{Md_{Max}}{W}} \leq f_{c0d}$$

Sendo f_{c0d} a resistência de cálculo à compressão paralela às fibras.

Nota: Ver também tabela com valores médios de resistência da norma NBR 7190/97.

2.5 - Verificação da deformação (flecha) - Estado limite de utilização (Fig. 2)

No geral $f \leq l/200$ e em casos particulares em que suporta estruturas frágeis $f \leq l/350$.

Carga distribuída $f = \dfrac{\alpha.(g+q)_{serv} l_0^4}{384.E_{c0,ef}.I}$

Concentrada $f_c = \dfrac{P_{serv} l_0^3}{48.E_{c0,ef} I}$

Fig. 2 – Viga simplesmente apoiada

α = Índice (para o caso de vigas simplesmente apoiadas $\alpha = 5$)
$(g+q)_{serv}$ = Combinações de longa duração - estado limite de serviço

P_{serv} = Carga total sobre a viga – Valor de serviço
l_0 = Vão teórico em **cm**
$E_{c0,ef}$ = Módulo de elasticidade para a madeira. Para melhor precisão ver tabela na norma. $E_{c0,ef} = K_{mod} \times E_{c0m}$ (Tabela).
I = Momento de inércia em cm^4

Exemplificando:

Verificar a estabilidade do assoalho indicado abaixo (caso de uma residência) usando a madeira Maçaranduba (Fig. 3).

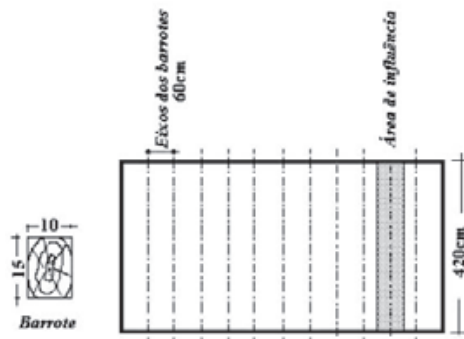



Fig. 3

2.5.1 - Análise de carga

a) Sobrecarga de utilização *(q)*=..200kgf/m^2

b) Tabuado de peroba

pp = 0,03x1x1xγ

pp = 0,03 x 1143..34,29kgf/m^2

c) Forro de pinho na parte inferior

P = 0,015x540 ....8,1kgf/m^2

g = 34,29+8,1= 32,1kgf/m^2....................42,39kgf/m^2

d) Carga sobre a viga

Área de carga ou de influência ➔

A = 0,60x4,20 = 2,52m^2

Peso próprio da viga ➔ 4,20x0,15x0,10x1143= 72,00kgf

Combinação última normal:

$(g+q)_d$ = 1,4[42,39 x 2,52 + 72] + 1,4 x 200x2,52

$(g+q)_d$ = 250,35 + 705,6 = 955,95kgf

$(g+q)_d$/m = 955,95/4,20 = 227,61kgf/m

Combinação de longa duração (nosso caso):

0,4 maiores cargas e **0,6** bibliotecas e arquivo

$(g+q)_{serv}$ = (42,39 x 2,52 + 72,0) + **0,2** x (200 x 2,52)

$(g+q)_{serv}$ = 178,83 + 100,8 = 279,63kgf

$(g+q)_{serv}$ = 279,63/4,20 = 66,58kgf/m

Nota: 1kgf = 9,806N (Newtons) ≈10N

2.5.2 - Cálculo do momento máximo e tensão de projeto

$$l_0 = 4,2 \times 1,05 = 4,41\text{m}$$

$$M_d = \frac{ql_0^2}{8} = \frac{227,61 \times 4,41^2}{8} = 553,32\,kgfm$$

$$\boxed{\sigma = \frac{M_d}{W}}$$ (E. Navier)

$$\sigma = \frac{55332}{375}$$

$$\sigma = 147,56\,kgf/cm^2 \approx 14,76 \text{ MPa}$$

$$\boxed{W = \frac{bh^2}{6}}$$

$$W = \frac{10 \times 15^2}{6}$$

$$W = 375cm^3$$

Resistência de cálculo da madeira

$$f_{c0,d} = K_{mod} \cdot \frac{f_{c0k}}{\gamma_{wc}} = K_{mod} \cdot \frac{(0{,}7 f_{c0m})}{\gamma_{wc}} = 0{,}45 \times \frac{0{,}7 \times 82{,}9}{1{,}4} = 18{,}65 MPa$$

14,76 < 18,65 ➔ Logo, satisfaz a condição

2.5.3 - Verificação da deformação (flecha)

$$I = \frac{10 \times 15^3}{12} = 2812{,}5 \approx 2813 cm^4$$

$(g + q)_{serv}$ = 66,58kgf/m = 0,67kgf/cm

$$f = \frac{5 \times 0{,}67 \times 441^4}{384.E_{ef}.I}$$

E_{com} = 22733MPa
E_{cef} = 0,45 x 22733 = 10229,85 MPa ou 102.298 kgf/cm^2

$$f = \frac{5 \times 0{,}67 \times 441^4}{384 \times 102\,298 \times 2813} = 1{,}15 cm$$

441/200 = 2,2cm para o caso extremo 441/350 =1,26

1,15 < 2,2 OK.

Há entretanto divergência mais acentuada no cálculo das tensões.

2.6 - Exemplificando com uma verificação pelo método das tensões

Embora menos apurado, resolve, perfeitamente, as verificações de estabilidade de monumentos, que não apresentam, geralmente, sistemas hiperestáticos nos apoios de assoalhos e forros. Além do mais, no material envelhecido, entram fatores diversos que são difíceis de serem quantificados.

Verificar a estabilidade do assoalho indicado abaixo (caso de residência).

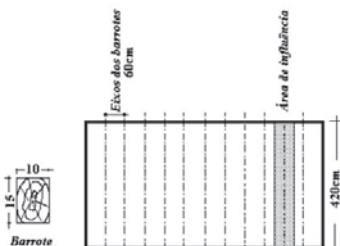



Fig. 3 (bis)

Usando o mesmo caso do cálculo anterior para comparação e a mesma madeira a maçaranduba para o vigamento:

2.6.1 - Análise de carga

a) Carga acidental 200kgf/m²

b) Tabuado de peroba

P = 0,03x1x1xγ

P = 0,03 x 1143...34,29kgf/m²

c) Forro de pinho na parte inferior

P = 0,015x540 = 8,1kgf/m² 8,1kgf/m²

SUBTOTAL...242,39 kgf/m²

d) Carga sobre a viga

Área de carga ➔ A = 0,60x4,20 = 2,52m²

Carga geral sobre a viga ➔ ***P*** = 2,52x242,39 = ...610,83kgf

Peso próprio da viga ➔ 4,20x0,15x0,10x1143 = ...72,0kgf

CARGA TOTAL....................................... 682,83kgf

Carga por **m** de viga ➔ $q = \dfrac{682,83}{4,20}$ = 162,58kgf/m.

2.6.2 - Cálculo do momento máximo e tensão de trabalho

$$M_{máx} = \frac{ql_0^2}{8}$$

l_0 = 4,2 x 1,05 = 4,41m

$$M_{\max} = \frac{162,57 \times 4,41^2}{8} = 395,21 kgf.m$$

$$\sigma = \frac{M}{W}$$ (E. Navier)

$$\sigma = \frac{39521}{375} = 105,39 kgf/cm^2$$

σ = 105,39kgf/cm² = 10,54MPa

$$W = \frac{bh^2}{6}$$

$$W = \frac{10 \times 15^2}{6} = 375 cm^3$$

W = 375 cm³

105,39<130 Tabela do Moliterno

2.6.3 - Verificação da deformação (flecha).

$$I = \frac{10 \times 15^3}{12} = 2812,5 \approx 2813 cm^4$$

$$f = \frac{\alpha . q l_0^4}{384.E.I}$$

$$f = \frac{5 \times 1,63 \times 441^4}{384 \times 183000 \times 2813} = 1,56 cm$$

1,56 > 1,26 ➔ Não atende

Comparando com as normas brasileiras de cálculo, existe, na verificação pelo método das tensões, alguma diferença, porque é menos apurada, porém favorável à segurança.

2.7 - Tabuados com barroteamento apoiado em viga "madre"

Ocorre, alguma vezes, que o vão dos barrotes é muito grande em um determinado cômodo e, assim, os antigos costumavam colocar uma viga "madre" ou "mestra", que divide o vão dos barrotes em dois. Neste caso, a viga "mestra" pode ser calculada, também, como recebendo uma carga uniformemente distribuída, que corresponde ao somatório das cargas dos barrotes apoiados sobre ela.

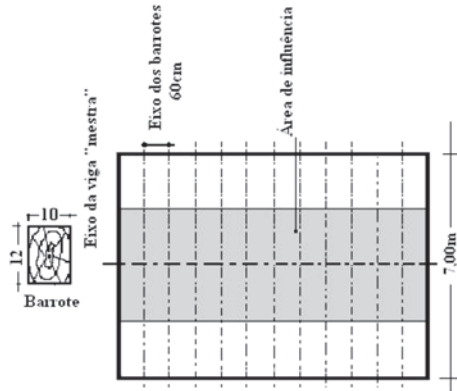



Fig. 14 – Barrotes apoiados em viga mestra

Neste caso, haverá um momento negativo nos barrotes apoiados sobre a viga "mestra" que forem contínuos, mas, nem todos o são e por isto devemos verificar o comportamento destas peças como se terminassem na viga admitindo inclusive, que, no futuro, pode haver uma substituição parcial destes elementos estruturais.

2.8 - Uso de ferramentas computacionais

As tensões podem ser verificadas com o uso de alguns programas de computador. Ex: SAP 2000

Uma ferramenta bem simples é o Ftools, que é de uso livre e atende as nossas necessidades de verificação para vigas e tesouras.

b) Dos arcos, abóbadas e cúpulas

Arco non è altro che una fortezza causata da due debolezze, imperò che l'arco negli edifici è composto di 2 parti di circulo, i quali quarti circuli, chascuno debolissimo per sé, desidera cadere, e opponendo-se alla ruina l'uno del altro, le due debolezze se convertano in unica fortezza. **LEONARDO DA VINCI [12].**

1 - PRIMEIRAS TENTATIVAS DE ANÁLISE DE EMPUXO

Lahire (1712); Coulomb (1773); **Méry (1928)**
Partindo do pressuposto de estruturas não elásticas (que não podem ser consideradas para grandes vãos)

2 - DADOS NECESSÁRIOS

- Vão livre
- Espessura e material da arquivolta e dos apoios
- Material de enchimento para nivelar o extradorso do arco ou da abóbada
- Cargas eventuais
- Sobrecargas

3 - REPRESENTAÇÃO

a) Usar desenho em escalas maiores como 1:20 ou se possível 1:10.
b) No caso de sobrecargas, eventuais ou não, na parte superior das abóbadas, em vista da existência de um piso, transformar as ditas cargas em figuras geométricas, que vão se incorporar ao desenho, de acordo com a fórmula abaixo:

$$h' = h.\frac{\lambda'}{\lambda_0}$$

h' = Altura virtual de cálculo
h = Altura do recobrimento
λ' = Massa unitária do material de enchimento
λ_0 = Massa unitária do material do arco

4 - VERIFICAÇÃO DO EMPUXO (Fig. 5)

a) Considerar uma fatia equivalente a 1,00m de abóbada, como se faz para análise de carga, e o equivalente à metade do arco, porque é um sistema simétrico.

b) Marcar zona do ***rim do arco*** a 30°, a partir da ***linha de impostas***. Como o trecho abaixo dos 30° não exercerá influência no cálculo da estabilidade do arco, no que se refere a empuxo, será desprezado;

c) Dividir o trecho restante do arco (60°) em, no mínimo, quatro partes de 15°. Marcar com linha cheia forte o trecho da meia arquivolta;

d) Levantar perpendiculares à linha de impostas, a partir do extradorso da arquivolta, nos pontos de divisão do arco;

e) Identificar com letras os trechos delimitados em *b* e *c*. Serão quatro figuras em forma de paralelogramo, com um dos lados em arco correspondente ao trecho de regularização (nivelamento) da parte superior do arco: A, B, C e D, acrescidos, quando for o caso, de figuras correspondentes à carga virtual do arco em pontilhado, obtidas em *3.00, (item b)*. Os quatro setores de coroa correspondentes, obtidos com a divisão da meia arquivolta, poderão, por exemplo, ser designados como: A', B', C' e D';

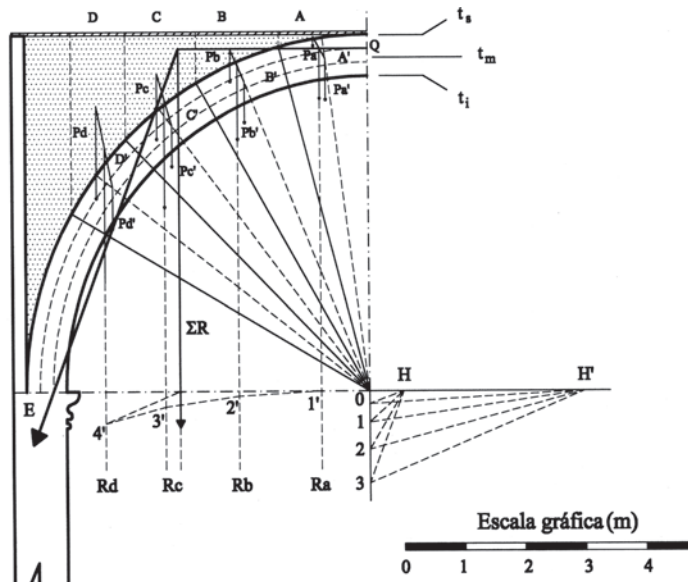



Fig. 5 – Grafostática de uma abóbada

f) Calcular a área de cada uma das zonas delimitadas anteriormente tomando-se por base as dimensões do desenho. Caso o enchimento de regulariza-

ção da parte superior do arco seja composto de mais de um material, calcular tais áreas separadamente, da maneira seguinte:

Área do paralelogramo

$$Sp = \frac{(b+B).h}{2}$$

Área do setor de coroa

$$Sc = \frac{\pi(R^2 - r^2)}{360} n^0$$

g) Determinar o centro de gravidade das figuras A, B, C e D, bem como de A', B', C' e D'. Considerar as figuras A, B, C e D como paralelogramos e fazer graficamente a determinação dos centros de gravidade de cada um deles da seguinte forma:

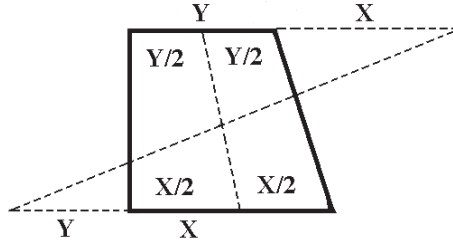



Fig. 6

Observação: Quando estas verificações grafostáticas são feitas em Autocad estes cálculos ficam simplificados, pois a ferramenta computacional calcula as áreas delimitadas e dá a posição exata do centro de gravidade. Além disto, a exatidão dos traçados e resultados é sensivelmente superior.

Para os setores de coroa, calcular X_0, raio onde está situado o baricentro, através da fórmula abaixo, considerando nosso caso, $\alpha = 15^o$:

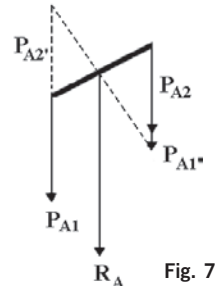
$$X_0 = 38{,}1972 \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \times \frac{\text{sen } \alpha}{\alpha}$$

Com centro em "O" e raio X_0 , traçar o arco de circunferência. Feito isso, traçar as bissetrizes.

h) Calcular as massas (P) ➔ **P = S ×** $\gamma_{material}$
onde **S** é a **área** da figura e γ é a **massa unitária** do material.

i) Marcar graficamente o valor de P em escala adequada ➔ Como sugestão: 1mm = 25kg;

j) Aplicar as massas encontradas para as figuras e achar a resultante dos pares de figuras (A e A', B e B', C e C', D e D'). Para isto, utilizar normalmente os processos gráficos dos paralelogramos de forças (achando-se o ponto de aplicação da resultante R, pode-se representar graficamente o seu valor na figura) (Fig. 7);

Fig. 7

Proceder de maneira análoga para os diversos trechos, encontrando graficamente os valores de R_a, R_b, R_c e R_d.

5 - MARCAÇÃO DA FUNICULAR

a) A partir de "O", cumulativamente, marcar na vertical no trecho abaixo da linha de impostas os valores de R_a, R_b, R_c e R_d, adotando-se outra escala, assinalando os pontos 1, 2, 3 e 4, que correspondem às extremidades de cada um dos empuxos (marcados também em escala). A título de sugestão pode-se adotar a escala **1mm = 100kg**;

b) Na horizontal correspondente à linha das impostas (ou em outra paralela a esta), marcar o ponto H', arbitrariamente, unindo a ele os pontos 1, 2, 3 e 4, com linhas tracejadas;

c) Sempre com linhas tracejadas, prolongar as verticais correspondentes às resultantes R_a, R_b, R_c e R_d;

d) Traçar paralela a H'1, a partir de 1' até encontrar o prolongamento de R_b, o que definirá o ponto 2'. Passar por este ponto uma paralela a H'2, até achar 3', no prolongamento de R_c. A partir daí, com uma paralela a H'3, achar 4', no prolongamento de R_d. Por último, com uma paralela a H'4, traçar um segmento de reta a partir de 4', até cortar a linha de impostas no ponto 5'. Uma perpendicular "J" à linha das impostas, passando por 5' será a direção da resultante R_T do conjunto, cujo valor será igual ao somatório das resultantes parciais (R_n);

e) O ponto de aplicação da resultante R_T e a direção da resultante do empuxo serão obtidos pelas seguintes operações:

- Dividir a espessura da arquivolta em três partes iguais (faixas): terço médio, terço superior e terço inferior;
- Traçar uma horizontal "Q", passando pelo limite superior do terço médio (T_S), definindo o ponto de aplicação da resultante R_T do sistema;
- Determinar a direção da resultante do empuxo "E" ligando-se o ponto de aplicação da R_T ao limite inferior do terço médio na linha de arranque do arco (linha de impostas);

f) Encontrada a direção do empuxo, transferí-la para a funicular, a partir do ponto 4, determinando-se "H". Unir "H" aos pontos 1, 2, 3 e 4. Os valores das resultantes dos empuxos de cada setor serão encontrados medindo-se os segmentos OH, 1H, 2H, 3H e 4H. O nosso tirante deve ser calculado para anular OH;

g) Para se verificar a ação do empuxo sobre as paredes de apoio e a condição de estabilidade do sistema estrutural deve-se encontrar o baricentro (G) do maciço onde se apóia o arco ou abóbada. Aplicar na mesma escala da funicular a massa do prisma (Pp). Traçar, a partir do mesmo baricentro a direção da resultante dos empuxos indicada pelo segmento 4H, também em escala. Encontrar a resultante destas forças concorrentes, que não deverá passar fora do terço médio da base, sob pena de termos um sistema instável.

Esta verificação gráfica adquire muito maior exatidão quando feita através do AUTOCAD.

6 - NEUTRALIZAÇÃO DO EMPUXO

Caso seja necessário, neutralizar o empuxo do sistema arqueado através de um tirante metálico, procede-se conforme explicitado a seguir.

6.1 - Dados necessários

- Empuxo horizontal ➔ Valor de OH, medido na escala da funicular;
- Tensão admissível do ferro a ser utilizado (σ_{adm}).

6.2 - Área da secção de ferro (ou aço)

É obtida duplicando o valor da tensão de empuxo encontrada em OH, já que estudamos somente a metade do sistema, e encontrando a secção adequada em tabelas de ferros e aços fornecidas pelas siderúrgicas.

6.3 - Cálculo da dimensão dos "esbarros" ou retentores

Inicialmente deve-se escolher o tipo disponível ou de mais fácil execução e aplicar as fórmulas específicas (vide capítulo de Consolidação das Construções).

- A fórmula geral para tensões admissíveis no muro seria:

$$F = \sigma . A$$

Onde σ equivale a 0,1 a 0,2 kgf/cm^2 (0,01 a 0,02MPa) e **A** é a área de distribuição de tensões.

Para chavetas, o esforço admissível no muro deve ser calculado da seguinte forma:

$$F = \sigma_0 (4E + 2L + 2s) E\sqrt{2}$$

Onde:

F = Força admissível no tirante
σ_0 = Tensão admissível no muro
E = Espessura da parede
L = Comprimento da chaveta
s = Largura da chaveta

Para os muros em argamassa de cal e areia, ou cal, areia e barro, que é o caso dos muros mais antigos, admite-se uma tensão de: **0,1 a 0,2kgf/cm² ≈ (0,01 a 0,02MPa)**.

No caso de placas circulares e quadradas, o valor da superfície lateral é obtido através das seguintes expressões:

Tronco de cone (Fig. 8) ➔ $$S_{lateral} = \pi\,(R + r)\,l$$

Onde :

l = Geratriz do tronco de cone (no nosso caso = $E\sqrt{2}$)
R = Raio da base
r = Raio do topo (corresponde ao raio do esbarro)

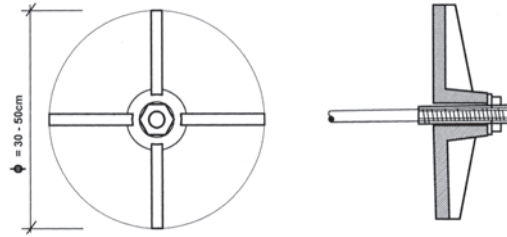



Fig. 8

Tronco de pirâmide (Fig. 9) ➔ $S_{lateral} = 2l(a+b)$

l = Altura das faces laterais (no nosso caso = $E\sqrt{2}$)
a = Lado da base maior
b = Lado da base menor (lado do esbarro)

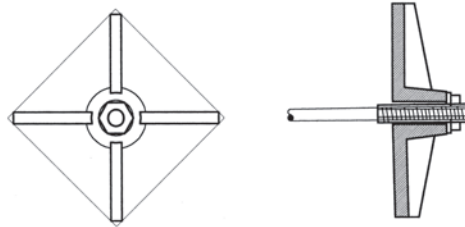



Fig. 9

6.4 - Verificação de estabilidade de cúpulas

Segue a mesma metodologia adotada para os arcos e abóbadas, observando-se que:

- Não existe necessidade de se admitir sobrecarga de enchimento;
- O peso do trecho do setor de coroa, no caso, segue a diretriz dos meridianos.

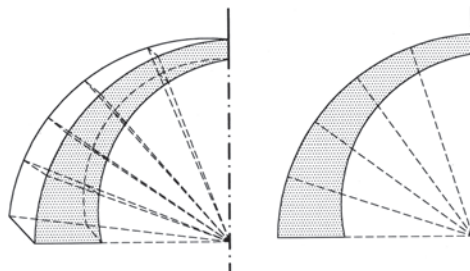



Fig. 10

6.5 - Um exemplo de estabilização executada ➔Forte da Jiquitaia

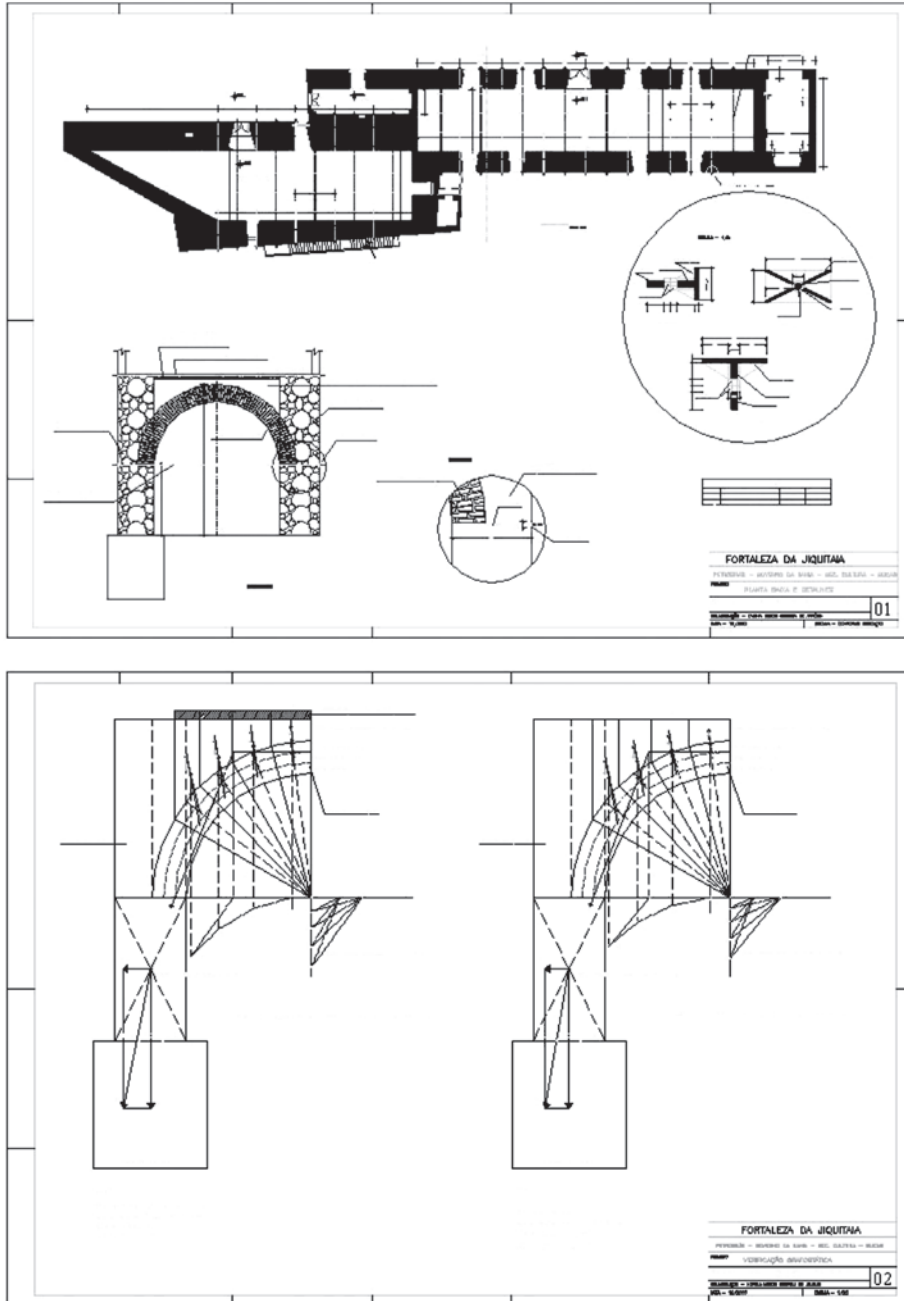



Fig. 11

c) Das tesouras

Les charpentiers font de deux sortes de combles, conformement à la doctrine de Vitruve... **PERRAULT** [13].

1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A cobertura deve receber uma atenção muito especial no trabalho da conservação ➔ Dela depende, fundamentalmente, a conservação do edifício e dos objetos no seu interior.

Necessidades:

- Verificação de estabilidade de antigas estruturas
- Verificação de estruturas metálicas da arqueologia industrial
- Cálculo de estruturas de reforço ou substituição

2 - TIPOLOGIA E DESIGNAÇÃO (Fig. 12)

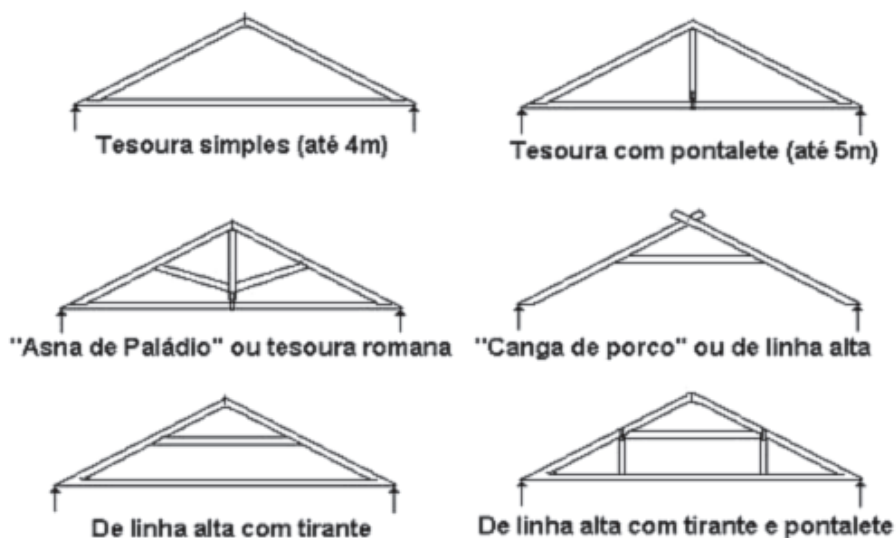



Fig. 12 – Alguns tipos de tesouras. Outros modelos existem como variantes destes apresentados.

Outros modelos de tesouras com variantes existem, como a Polonceau de tirante elevado etc.
A tesoura de linha alta, ou "**canga de porco**", é muito comum na nossa arquitetura tradicional, principalmente quando o sistema de cobertura é de "**caibro armado**". Neste caso, em geral não existem terças e as tesouras, menos robustas, têm pequena distância entre os eixos substituindo os caibros. Sobre elas somente as ripas de dimensões mais reforçadas. As "**cangas de porco**" são sempre empregadas quando o forro do espaço é do tipo "**gamela**" trazem, porém, o grande inconveniente de poder produzir empuxos sobre as paredes de apoio e efeitos de flexão na parte das pernas sem tirante. Verificando-se, porém a linha alta por computador, ela é uma peça que trabalha comprimida e não tracionada, como parece.

3 - CÁLCULO DE TESOURAS (método grafostático)

Tipologias de sistemas:
- $N_b < 2N_n - 3 \rightarrow$ Hipoestática (deformável)
- $N_b = 2N_n - 3 \rightarrow$ Estática (calculável graficamente)
- $N_b > 2N_n - 3 \rightarrow$ Hiperestática (não calculável graficamente)

Onde: N_b = Número de barras; N_n = Número de nós

3.1 - Exercícios

Vamos supor dois tipos de tesouras para exercícios de aplicação, conservando, porém, todas as características de carregamento, pendência e vão livre.

3.1.1 – Tesoura do tipo Asna de Paládio ou Romana:

- Valor do ângulo de pendência (α): $tg\alpha = \frac{2,5}{5} \Rightarrow \alpha \approx 26,5^{0}$

- Valor da área de carga sobre a tesoura:

  Comprimento da água (hipotenusa) ➔ $p = \frac{h}{sen\alpha} \therefore \frac{2,5}{0,446} = 5,6m$

  Área de carga ➔ S= 2,47 x 5,6 = 13,87m^2

- Carga de 1m^2 de telhado (telha canal grossa, caibros e ripas) ➔ 80kgf

- Vento forte de 90kgf/m^2

- Incidência do vento obtido na prática ➔ α‘=10°
  Força do vento ➔ *Fv* = 90 sen(26,5°+10°) = 90´sen36,5° = 53kgf/m^2

- Carga por m^2 de parede 80kgf+53kgf = 133kgf

- Carga total em uma água ➔ 133 kgf/m^2 x 13,87m^2 = 1846kgf

Dividindo a carga por P_1, P_2, e P_3, teremos:
P_1 = 451,5kgf
P_2 = 923kgf
P_3 = 461,5 + 461,5 (quinhão de carga da outra água) = 923kgf.

Descrição das operações:

a) Desenhamos a tesoura em escala, colocamos as setas onde estão aplicados os esforços e as letras indicativas dos campos sempre no sentido horário;

b) Marcamos a funicular, partindo da indicação das reações de apoio (R_a e R_b) e no sentido contrário as cargas P1, P2, P3, P2’ e P1’ *x*mm:*y*kgf;

c) Pelo ponto C passamos uma paralela à linha que delimita os campos C e D da tesoura até encontrar AD, que é uma paralela ao tirante da tesoura;

d) Pelo ponto E passamos uma paralela à linha que delimita os campos E e F da tesoura ou seu correspondente, GH, paralelo ao trecho da perna da tesoura que separa os campos G e H;

e) Traça-se FH paralela ao pendural da tesoura que separa no desenho os campos F e H;

f) A grandeza dos segmentos traçados multiplicada pela escala atribuída às cargas dá o valor da tensão em cada uma das barras da tesoura.

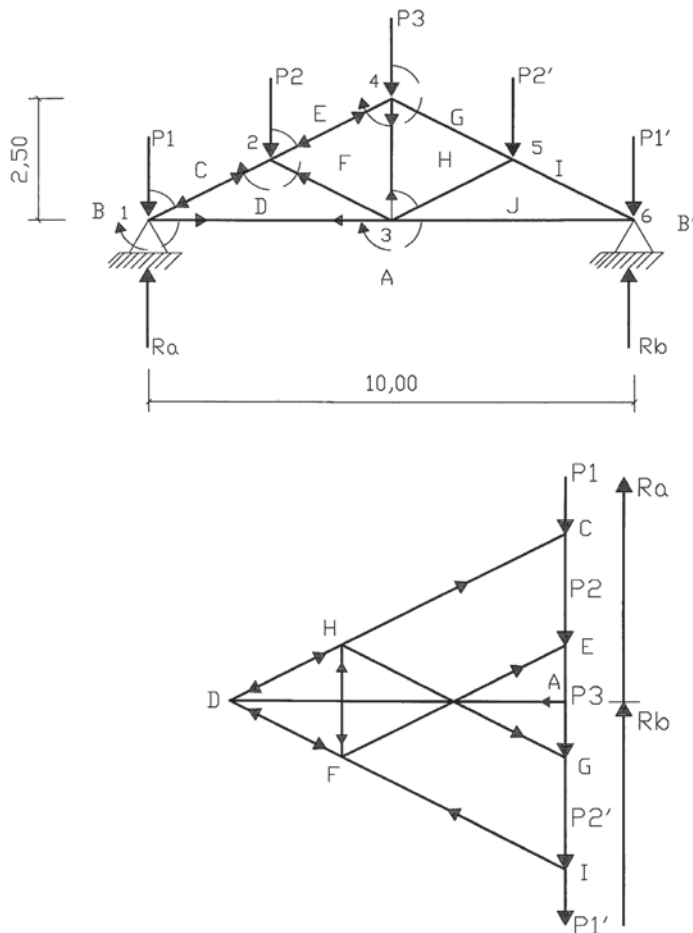



Fig. 13 – Grafostática de uma "Asna de Paládio"

Estas verificações grafostáticas quando são efetuadas com AUTOCAD são de grande precisão.

Nó	1	2	3	4
Esforços	AB-1846	CE-923	AD-2769	EG-923
em	BC-461,5	EF-2063,88	DF-1031,96	GH-2063,88
Kgf/ cm²	CD-3095,84	FD-1031,96	FH-923	HF-923
	DA-2769	DC-3095,84	HJ-1031,96	FE-2063,88

Barra	1-2	1-3	2-4	2-3	4-3
(+)	3095,84	-	2063,88	1031,96	-
(-)	-	2769	-	-	923

3.1.2 - Suponhamos uma tesoura Polonceau cobrindo um vão livre de 10m, com uma altura de 2,5m. O espaçamento entre as tesouras é de 2,47m (Fig. 12). Dimensões idênticas ao caso anterior.

- Valor do ângulo de pendência $tg\alpha = \frac{2,5}{5} \Rightarrow \alpha \approx 26,5^{o}$

- Valor da área de carga sobre a tesoura
  Comprimento da água (hipotenusa) ➔ $p = 5,6m$
  Área de carga ➔ S= 2,47 x 5,6 = 13,87m²**;**

- Carga de $1m^2$ de telhado (telha canal grossa, caibros e ripas) ➔ 80kgf;
- Vento forte de $90kgf/m^2$;
- Incidência do vento obtido na prática ➔ $\alpha' = 10^o$;

  $Fv = 90\ sen(26,5^o+10^o) = 90 \times sen36,5^o = 53kgf/m^2$;

- Carga por m^2 de parede 80kgf + 53kgf = 133kgf;
- Carga total em uma água ➔ $133\ kgf/m^2 \times 13,87m^2 = 1846kgf$;
  Dividindo a carga por P_1, P_2, P_3 e P_4, teremos:
  $P_1 = 307,5kgf$
  $P_2 = P_3 = 615kgf$
  $P_4 = 307,5 + 307,5$ (quinhão de carga da outra água) = 615kgf.

Nó	1	2	3	4	5
Esforços	AB-1846	CE-615	AD-3075	EG-615	GJ-615
em	BC-307,5	EF-2750,36	DF-687,6	GH-2750,36	JK-2750,36
Kgf/cm²	CD-3437,96	FD-687,6	FH-615	HF-615	KI-1108,72
	DA-3095	DC-3437,96	HI-1108,72	FE-2750,36	IH-1108,72

Barra	1-2	1-3	2-4	2-3	4-5	4-3	5-3	3-7
(+)	3437,96	-	2750,36	687,6	2750,36	615	-	-
(-)	-	3075	-	-	-	-	1108,72	3075

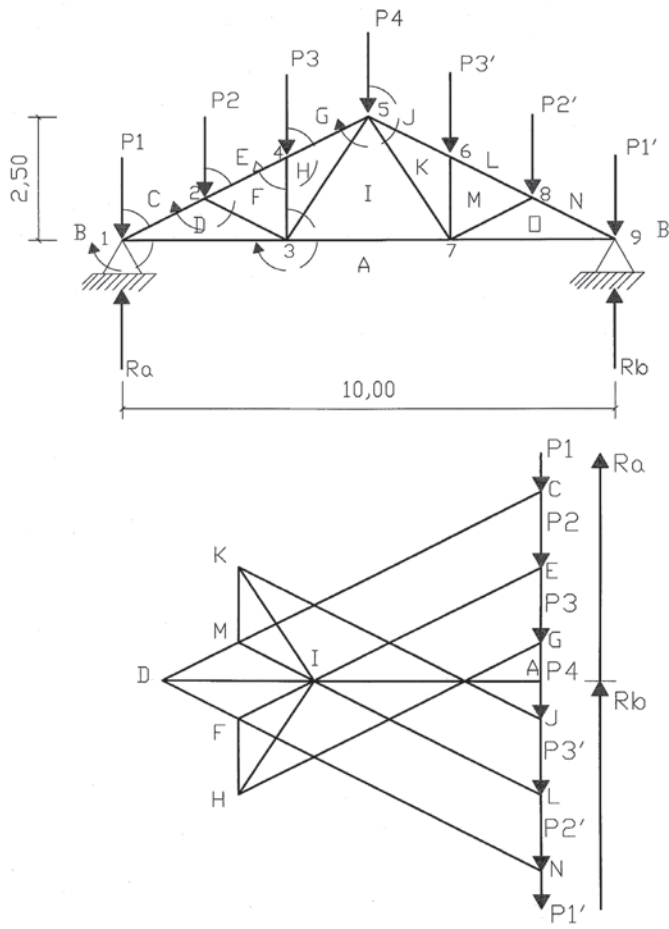



Fig. 14 – Estudo grafostático de uma tesoura Polonceau

d) Muros de arrimo

Maxima autem esse debet cura substructionum, quod in his infinita vitia solet facere terræ congestio. Ea enim non potest esse semper uno pondere, quo solet esse æstatem, sed hibernis temporibus recipiendo ex imbribus aquæ multitudinem crescens et pondere et amplitudine disrumpit et extrudit structurarum saeptiones. **VITRUVIO** [14]

1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Processo usado empiricamente, mas com sabedoria, desde a mais remota antiguidade ➔ Os casos mais freqüentes eram muros de pedra com "arrasto" pelo lado de fora.

2 - MÉTODOS DE VERIFICAÇÃO E CÁLCULO

2.1 - Verificação analítica

2.1.1 - Cálculo do empuxo (Fig. 15)

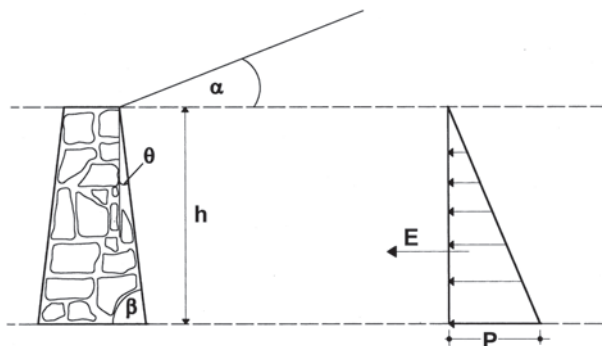



Fig. 15

Para se calcular o empuxo levando-se em conta o atrito das partículas de solo, a inclinação do terreno e a rugosidade do muro, adota-se uma adaptação da fórmula do empuxo hidrostático:

$$E = \frac{1}{2}\gamma_t K h^2$$

Onde:

- γ_t = Massa unitária do terreno
- h = Altura do muro acima da fundação
- K = Coeficiente de Coulomb

2.1.2 - Cálculo do *coeficiente de empuxo*

O valor de "K", que é chamado de *coeficiente de empuxo* ou *coeficiente de Coulomb,* é dado pela expressão de Rebhann:

$$K = \frac{\operatorname{sen}^2(\beta + \varphi)}{\operatorname{sen}^2 \beta \operatorname{sen}(\beta - \delta)\left[1 + \sqrt{\frac{\operatorname{sen}(\varphi - \alpha) \int \operatorname{sen}(\varphi + \delta)}{\operatorname{sen}(\beta - \delta)\operatorname{sen}(\beta + \alpha)}}\right]^2}$$

Onde:

- **α** = Ângulo de inclinação do terreno acima do respaldo do muro
- **θ** = Ângulo de inclinação do paramento interno com a vertical
- **β** = 90º - θ
- **φ** = Ângulo de talude natural
- **δ** = Ângulo de atrito da terra com o muro:

$\delta = 0$ ➔ Paramento interno liso

$\delta = 0{,}5\ \varphi$➔ Paramento meio rugoso

$\delta = \varphi$ ➔ Paramento rugoso

A fórmula do coeficiente de Coulomb pode ser simplificada para alguns casos especiais que, em geral, nunca ocorrem para os antigos muros em alvenaria de pedra, pois os **paramentos internos das alvenarias antigas, quase nunca, são lisos**:

① Paramento interno (lado da terra) liso e vertical:
$\delta = 0^0$, $\theta = 0^0$ e $\beta = 90^0$

② Paramento interno liso, com inclinação e terreno horizontal:
$\alpha = 0^0$, $\delta = 0^0$

③ Idem, idem com terreno inclinado onde $\alpha = \varphi$

④ Paramento interno liso, vertical e terreno com inclinação $\alpha = \varphi$

⑤ Idem, idem com terreno superior no nível do respaldo:
$\alpha = 0^0$, $\delta = 0^0$ e $\theta = 0^0$

Poder-se-ia, na verificação da carga produtora do empuxo, admitir uma redução do mesmo modificando a expressão **$\tau = \sigma . tg\varphi$** para solos não coesivos (como a areia), para a expressão:

$$\tau = C + \sigma . tg\varphi$$

onde C é a coesão obtida nos laboratórios de geotecnia. Na prática, porém, para efeito de cálculo, tendo em vista que os terrenos podem sofrer mudança da coesão por ação da água, não se leva em conta o valor da coesão.

2.1.3 - Valor do empuxo

Primeiro caso ➔ Terreno **sem** sobrecarga

a) Valor do empuxo ➔ $E = \frac{1}{2} K\gamma_t h^2 ...tf/m$

b) Direção do empuxo ➔ $\Delta = \theta + \delta$

c) Ponto de aplicação ➔ $y = \frac{h}{3}$

d) Pressão na base do muro ➔ $P = K\gamma_t h....tf/m^2$

Segundo caso ➔ Terreno **com** sobrecarga
A sobrecarga pode ser exclusivamente do terreno acima do respaldo e/ou de construções, pessoas e máquinas que passam pelo local.

a) Altura virtual equivalente à sobrecarga ➔ $h_0 = \frac{q}{\gamma_t} ....m$

b) Altura total para efeito de cálculo ➔ $H = h + h_o .....m$

c) Valor do empuxo ➔ $E = \frac{1}{2} K\gamma_t h^2 ...tf/m$ ou em kN/m (1kg = 10N)

d) Direção do empuxo ➔ $\Delta = \delta + \theta$

e) Pressões contra o muro:

No topo ➔ $P_t = K\gamma_t h_0 ... tf / m^2$ ou *kPa* ou ainda *kN/m*^{2}(1kPa=10^{3}Pa)

Na base ➔ $P_b = K\gamma_t H ... tf / m^2$

Obs: γ = Massa unitária da terra

2.2 - Verificação gráfica

Executar o desenho em escala para que se possa encontrar graficamente os valores do empuxo (Fig. 16).

φ = Ângulo do talude natural da terra
δ = Ângulo de atrito com o paramento interno do muro

Na prática ➔ $\frac{2\varphi}{3} \langle \delta \langle \varphi$

Este ângulo também definirá a direção da resultante do empuxo, cujo ponto de aplicação se encontra no limite superior do primeiro terço da altura do muro.

γ = Massa unitária da terra

2.2.1 - Construção gráfica

- Partindo-se do ponto **D**, traça-se o talude natural do terreno com o ângulo φ que definirá o ponto **F** na linha do perfil do terreno
- Divide-se o segmento de reta **DF** ao meio, encontrando-se o ponto **O** e com centro nele traça-se um semicírculo de raio **OD** (ou **OF**)
- Partindo-se do ponto **T**, no topo do muro, traça-se o ângulo $\varphi + \delta$ em relação ao paramento interno do muro, ou seja, **TD**, que vai definir o ponto **S** na reta **DF**
- Do ponto **S** traça-se uma perpendicular até encontrar o semicírculo, designando este ponto como **J**
- Com centro em **D** transfere-se o ponto **J** para a linha **DF** definindo o ponto **A** do futuro triângulo **ABC** que dará o valor do empuxo
- Do ponto **A** traça-se **AB** paralela a **TS** (formada pelo ângulo $\varphi + \delta$)
- Com centro em **A** rebate-se **B** para encontrar **C** sobre a reta **DF**, já que o triângulo **ABC** é equilátero.
- A área do triângulo **ABC** multiplicada pela massa unitária do terreno (γ_t) dará o valor do empuxo da terra sobre o muro

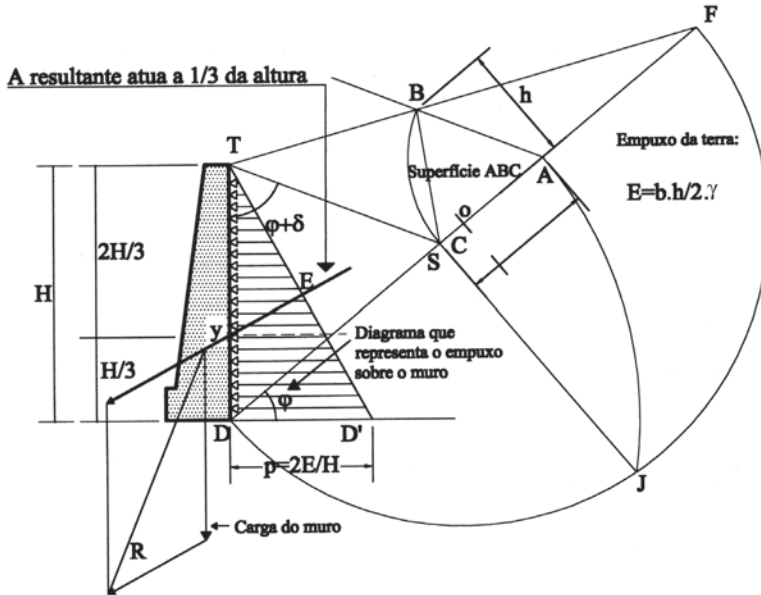



Fig. 16

NOTA: O ângulo de direção do empuxo (Δ) é igual a (δ) quando o paramento é vertical.

À semelhança de outros desenhos grafostáticos, a utilização do AUTOCAD dá enorme precisão aos resultados.

XIII. CONSOLIDAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES

> ***Nel caso dunque che sia necessario riparare le fondamenta, occorre scavare rasente il muro, tenendo conto delle proporzioni di questo e della solidità del terreno, uno stretto pozzo, fino a una profondità in corrispondenza della quale si trovi un terreno saldo e resistente... e ainda: Dicono gli antichi: scava fin quando trovi il terreno solido, e che il cielo ti assista.*** **ALBERTI**[(15)].

1 - CONSOLIDAÇÃO DAS FUNDAÇÕES

Ver Alberti (Livro X, Cap. I)

1.1 - Fatores fundamentais

- Tipos de fundações ➔ Lineares, tubulões, bulbos, estacas de madeira, plataformas etc.;
- Natureza do terreno sob plano de apoio.

1.2 - Procedimento básico ➔ Sondagens:

- Profundidade da fundação ➔ Abrir cavas mínimas de 1,20 x 1,50m. Aumentar e escorar se terreno frágil;
- Resistência do terreno: σ_{Adm} e estabilidade ➔ Ensaios completos de geotecnia.

1.3 - Fundações lineares

Causas gerais dos defeitos:

❶ Pouca superfície de apoio;
❷ Cedimento do terreno em camadas profundas.
❸ Carreamento de material pela água

1.3.1 - No caso de pouca superfície de apoio:

- Quase nunca é um problema inicial, mas provocado por sobrecargas posteriores;
- Importante atentar para as vizinhanças de velhas tubulações, especialmente manilhas e galerias, cujos vazamentos podem acarretar carreamento de material ou mudança das condições de resistência do solo.

- Fundações sobre solos expansivos (ex. massapê);
- Degradação do reforço original de estacas de madeira muito comuns nos edifícios, até os anos 50.

Providência básica após conhecer o solo ➔ Análise de carga:

❶ Aumento da superfície de distribuição de cargas ➔ Socalques;
❷ Consolidação e/ou estabilização do terreno;
❸ Reforço com estacas moldadas ou então estacas-raiz;
Técnicas e métodos variados.

1.3.2 - Dimensionamento dos socalques (Fig. 1)

Deve satisfazer a condição:

$$\sigma = \frac{P + P'}{S.10^4} \therefore S = \frac{P + P'}{\sigma.10^4} \therefore S = \frac{P}{\sigma.10^4 - h\gamma}$$

Na prática, o alargamento em função do aprofundamento $\Rightarrow \left(\frac{a}{h}\right)$

Onde: a = Alargamento h = Aprofundamento do socalque

$\left(\frac{a}{h}\right)$ ➚ = 1/3 se em tijolo
➔ = 1/5 se em concreto simples
➘ = 1/10 se em pedra bruta

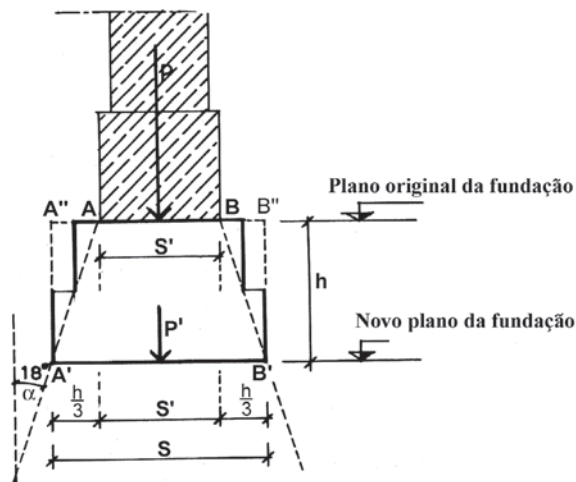



Fig. 1 – Alargamento de uma fundação

Onde:

P = Carga na base da velha fundação;
P' = Peso próprio da nova fundação;
σ = Tensão admissível em kgf/cm^2 ou em MPa;
S = Área da base.

Nos cruzamentos, a verificação deverá levar em conta a sobreposição de áreas de carga.

Metodologia do socalque:

Predomínio atual do concreto armado sobre a pedra bruta.

a) Iniciar aberturas nos vazios da fachada (locais de portas inferiores);
b) Alternar as escavações à direita e à esquerda;
c) Aberturas ao longo de 1,00 a 1,50m, a depender do estado do muro;
d) Alvenaria muito larga deve ser aberta nos dois lados;
e) Não "apertar" antes da retração;
f) No caso de socalques altos, dividir em duas seções;
g) Escoramento:

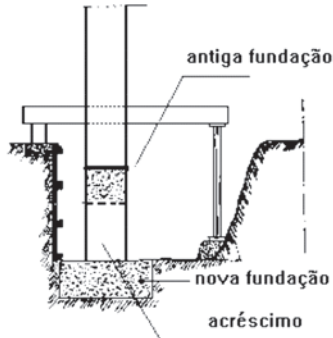



Fig. 2

❶ Da fachada ➔ Ver tabela de Mastrodicasa para avaliação da redução
❷ Transversal com cavaletes (duas escoras e uma viga)
Para verificar o escoramento transversal podemos avaliar (Fig. 2):

- Momento fletor da viga do escoramento ➔ $M_{max} = \frac{P.a.b}{l}$
- Carga admissível para apoio das escoras ➔ $\sigma = \frac{P}{S}$
- Pressão crítica para flambagem das escoras ➔ $P_{cr} = \frac{\pi^2.E.J}{l_0^2}$

h) Cálculo da nova área de fundação com as fórmulas indicadas anteriormente.
Socalques com concreto armado (Fig. 3):

❶ Executar progressivamente as placas de concreto sob a fundação. Procurar ligar as ferragens de cada uma das lajes para que haja unidade. Se a alvenaria não estiver fatigada, usar vibradores no socalque. É bom o uso de **aditivos expansores** para melhor ajustar o socalque. Verificar os momentos fletores das bordas da placa em balanço e calcular ferragem;

$$M_{max} = \frac{Pl}{2}$$

onde ***P*** é obtido da ação do apoio no terreno.

❷ Vigas justapostas ao plano de apoio com ou sem estacas furadas a trado (ver 1.4.2.1).

1.4 - Fundações profundas antigas

Maciços (semelhantes a tubulões) e estacas de madeira.

1.4.1 - Os maciços na antiguidade:

De forma circular ou quadrada, ligados entre si por arcos.

Socalque difícil. Em alguns casos possível usar arcos invertidos.

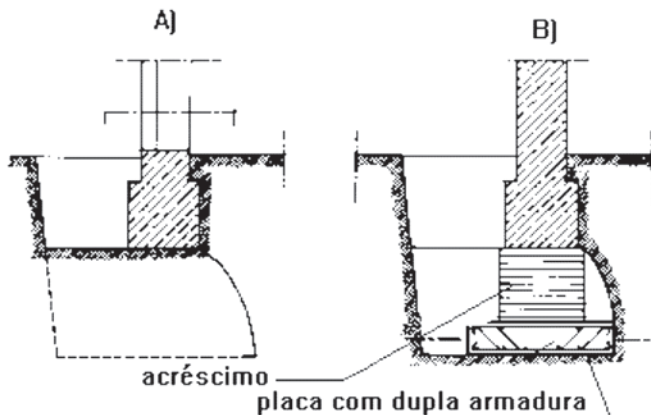



Fig. 3

1.4.2 - Estacas:

De madeira ➔ Antes do Século XX. Já citadas por Vitrúvio.

Primeiros parâmetros indicados por Alberti:

Si configgano molti pali e pertiche, dalla cima abrustolita, com la base rivolta in alto, in maniera tale Che l'area di quest'opera venga larga il doppio di quella che dovrà essere il muro; i pali devono essere lunghi almeno 1/8 dell'altezza che si vuol dare al muro, e grossi non meno di 1/12 della propria lungezza.

Em geral ➔ ∅ 10 a 20cm ➔ ***l*** = 100 a 200cm

Ver casos da ponte de Rialto, da Catedral do México e Forte S. José.

Estacas maiores só após a revolução industrial, com equipamentos mais desenvolvidos para cravação.

1.4.2.1 - Reforços com estacas de cimento ➔ Processos mais modernos:

❶ Moldagem com furos de trado;
Estacas combinadas com vigas aderentes de um só lado;
Estacas combinadas com vigas aderentes nos dois lados;

❷ Cravação com a ajuda de "macacos" hidráulicos sob a velha fundação;

❸ Estacas-raiz, criadas por Lizzi, em função, principalmente, do reforço de fundação de edifícios históricos.

Metodologia para a aplicação de estacas de reforço:

1- A) Estacas com vigas aderentes nos dois lados (Fig. 4)

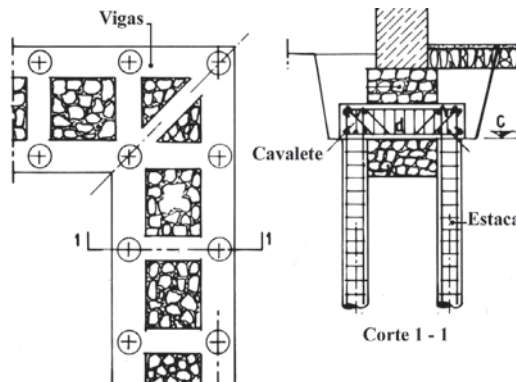



Fig. 4

a) Furos de trado de 6 a 10" (15 a 25cm);
b) Introdução de armadura de aço na furação ➔ 2 a 3m de profundidade;
c) Concretagem deixando parte da armadura para ser incorporada a vigas e “cavaletes”;
d) Furos horizontais na fundação para passagem dos “cavaletes”;
e) Introdução das armaduras horizontais (dos “cavaletes”) e ligação com a cabeça das estacas;
f) Colocação das ferragens longitudinais (das vigas aderentes);
g) Concretagem das vigas e “cavaletes”;

A absorção de carga será feita pelo aumento da largura da fundação com as vigas aderentes, pelo atrito das estacas no terreno e pelo apoio de ponta das mesmas.

Recomenda-se:
- Trama de vigas e cavaletes, o mais alta possível, para evitar grandes escavações.
- Uso de aditivos “expansores” e de vibração no concreto.

1- B) Estacas com vigas aderentes de um só lado (Fig. 5)
Casos especiais em que não se pode abrir a fundação pelos dois lados. Os mesmos procedimentos de **1-A** podem ser utilizados com certos cuidados adicionais, já que as estacas sofrem flexão e por isso devem ser bem armadas e de diâmetros maiores para resistirem aos momentos.

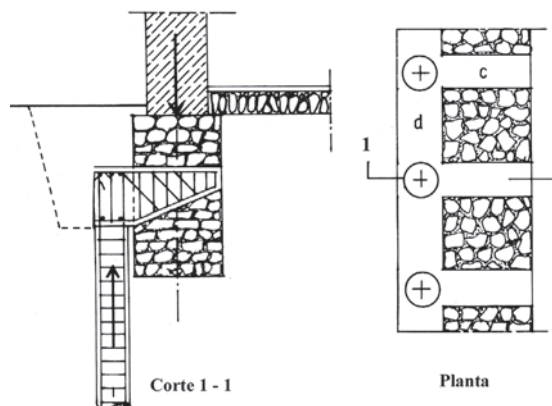



Fig. 5

Uma variante: uso de **duas filas de estacas** quando uma for insuficiente.

2) Estacas diretamente sobre a fundação (Fig. 6).

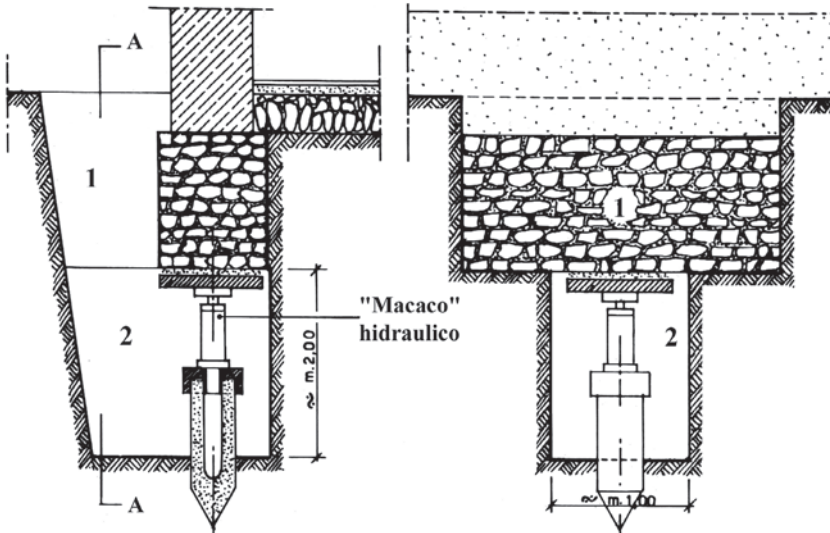



Fig. 6

Estrutura mais correta, porém menos econômica, mesmo usando menos material.
Dificuldades:

a) Controle mais severo de deformações;

b) Escavações sob a fundação;

c) Estacas pré-moldadas de *l*= 1,00m e ∅ 30 a 40cm;

d) Operação mais delicada e demorada.

Metodologia de operação:

- Escavação larga de aproximação até a base de apoio da fundação;
- Escavação de socalque até 2,00m abaixo do nível de apoio da fundação;
- Cravação da primeira seção (com ponta) com "macaco" hidráulico apoiado em placa de concreto para distribuição de tensões na velha fundação;
- Cravação progressiva das estacas até atingir uma pressão duas vezes superior à indicada no cálculo;
- Concordância "em pulvino" da cabeça da estaca com a placa de apoio.

1.5 - Cimentação de terrenos sob a fundação (Fig. 7)

Consolidação e/ou estabilização do terreno com cimento (ou cal) + água.

Metodologia para aplicação das injeções:

a) Delimitação:
Furos periféricos delimitadores;
Chapas e perfilados de bloqueio cravados para delimitação;

b) Furação rotativa;

c) Aplicação de tubos de injeção (Ø 40 a 100mm) ligados a mangueiras de pressão e reservatórios para a mistura;

d) Injeção;

- Água para lavagem a 2 atm
- Nata de cimento | 2 a 5atm em terreno permeável
  | Até 25atm em terreno impermeável

A dosagem na prática é função da permeabilidade ➔ 10 a 70kg de cimento/100 litros de água;

e) Direcionamento da furação.

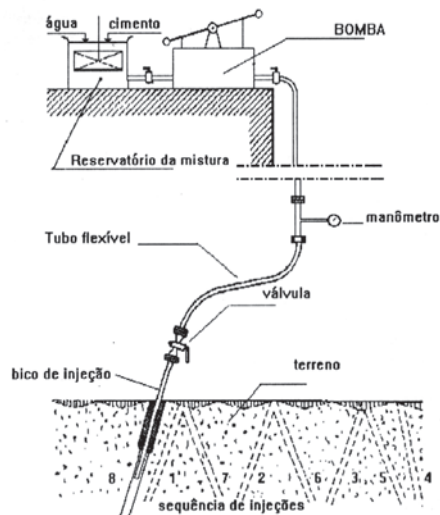



Fig. 7 – Consolidação do solo com injeções

1.6 - Impermeabilização do solo e do subsolo

Obtida com injeções de cimento, argilas (especialmente bentonita), produtos químicos e betumes;

O enxugamento dos terrenos pode ser obtido através de **eletrosmose**.

1.7 - Emprego de estacas raiz

O pioneirismo dos italianos e a contribuição de Lizzi;

Os primeiros edifícios consolidados com estacas raiz.

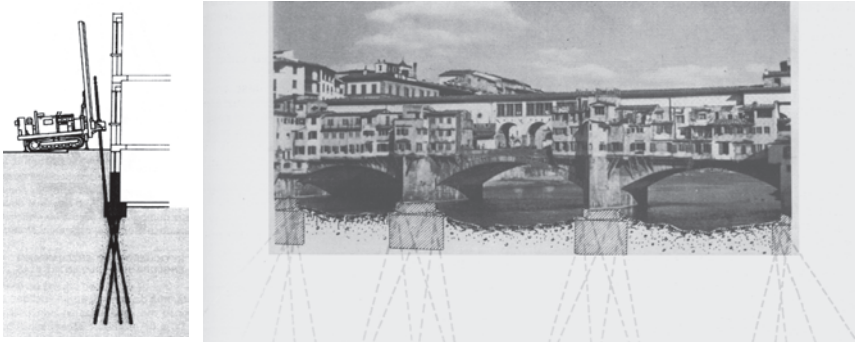



Fig. 8 – (a) e (b) Consolidação de fundação através de estacas raiz

2 - CONSOLIDAÇÃO DE ESTRUTURAS EM ELEVAÇÃO

2.1 - Esmagamento

Lesão das mais importantes, que vem quase sempre conjugada à flambagem, cujos sintomas foram estudados no módulo das lesões.

- Análise empírica feita com percussão. Análise científica com instrumentos de medição;
- Remédios mais comuns:
  Fase inicial ➔ Injeção de consolidação, “camisas”, perfís de canto;
  Fase avançada ➔ Reconstruir muro. Na cantaria, usar ***anastilose***;
- Injeções de consolidação:
  Material ➔ Depende de cada caso: nata de cimento, resinas e outros produtos químicos injetados;
  Furação ➔ Sondas rotativas e brocas diamantadas ou de vídia;
  Disposição ➔ Distância e alinhamento a depender do tipo de muro e da gravidade do problema.

Método de operação:

a) Fazer a primeira linha de furos;
b) Retocar as fissuras aparentes para evitar vazamentos;
c) Substitur todo o reboco sem aderência para evitar fugas;
d) Injetar das extremidades para o centro;
e) Repetir a injeção horas depois para preencher a retração e as fugas;
f) Passar à segunda linha de furos seguindo de baixo para cima;
g) Verificar a compacidade dos muros com percussão e sondagens.

Observar para os muros muito degradados:

- Furar sempre de baixo para cima;
- Usar ferros finos nos furos para evitar expulsão (tirantes antiexpulsivos);
- Usar costura externa de amarração sob o reboco.

2.2 - Cintamento de colunas

- Anéis de aço colocados **a quente** para se tirar partido da retração no esfriamento;
- No nosso clima, as variações de temperatura ambiente interferem no cálculo da retração possível;
- Controlar a temperatura de aquecimento experimentalmente para saber a retração final;
- Colocar cintas a partir do meio do fuste da coluna.

2.3 - Cintamento de pilares

No caso das seções retangulares, a cinta inteira periférica não oferece muita vantagem (Fig. 9). É necessário amarrar a cinta com tirantes antiexpulsivos.

- A compressão transversal concentra-se nos ângulos ➔ Usar **tirantes antiexpulsivos**; O caso das colunas do Palácio Antônio Lemos, em Belém;
- Cintamento só nos pilares com reboco. Na cantaria, só os tirantes;
- Modernamente o eixo das colunas pode ser perfurado para reforço;
- Aplicação de resinas epóxi especiais (ciclo-alifáticas), através de vácuo.

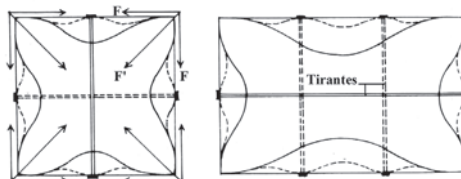



Fig. 9 – Reforço de pilares sob esmagamento

$$\boxed{F' = F\sqrt{2}}$$

2.4 - Flambagem (pressoflexão)

Lesões das mais graves e de efeito fulminante.

Algumas condições:

- Carga fora do plano vertical médio;
- Muros heterogêneos em profundidade;
- Esbelteza acentuada com mais de 15 vezes a menor dimensão da seção.

Fatores de agravamento:

- Empuxo de arcos ou terra;
- Cedimento das fundações;
- Argamassa em degradação;
- Vibração.

2.4.1 - Consolidação com tirantes de aço reduzindo o comprimento de flambagem.

Combinar sempre com outros procedimentos contra o esmagamento.

Alguns tipos de tirantes:

- Tirante simples de chaveta;
- Tirante duplo de chaveta;
- Tirantes com retentores (“esbarros” ou cabeças) circulares, quadrados ou elípticos, quase sempre moldados em ferro fundido (Fig. 10).

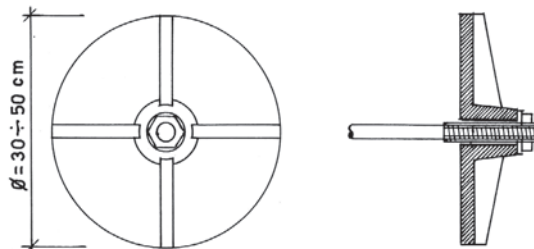



Fig. 10 – Retentor de tirante de forma circular

A depender do tipo de "esbarro", a área de distribuição de tensões na parede (tensões de tração que podem, neste caso, ser admitidas na alvenaria) corresponderão, segundo a forma do "esbarro", à área externa lateral de um tronco de pirâmide com os seus lados inclinados a 45° (quando de forma quadrada) ou à área externa lateral de um tronco de cone.

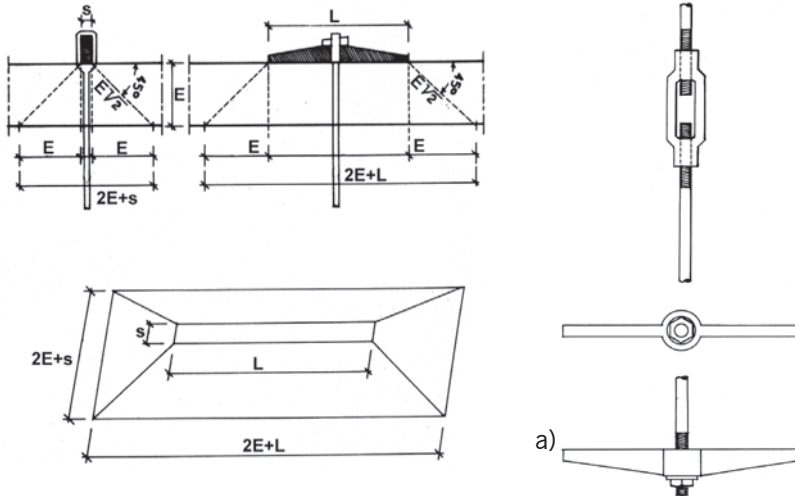



Fig. 11 – Tirante com chaveta. (a) Sistemas de ajuste do retentor

No caso de uso da chaveta (Fig. 11), o cálculo da tensão é feito da seguinte forma:

Na expressão ➔ $F = \sigma . S$, substituindo-se o valor de "S" pela área dos quatro trapézios, temos (Fig. 11):

$$F = \sigma_0 (4E + 2L + 2s) E\sqrt{2}$$

Onde:

F = Força admissível no tirante
σ_o = Tensão admissível no muro
E = Espessura da parede
L = Comprimento da chaveta
s = Largura da chaveta

Para os muros de argamassa de cal e areia, que é o caso dos muros mais antigos, admite-se uma **tensão de 0,1 a 0,2 kgf/cm²** (0,01 a 0,02MPa).
Nos casos de placas circulares (Fig. 10) e quadradas, o valor da superfície lateral é obtido através das seguintes expressões:

1) Tronco de cone ➔ $A_{lateral} = \pi.(R+r).l$

l = Geratriz do tronco de cone (no nosso caso = $E\sqrt{2}$)
R = Raio da base
r = Raio do topo

2) Tronco de pirâmide ➔ $A_{lateral} = 2.l(a+b)$

l = Altura das faces laterais (no nosso caso = $E\sqrt{2}$)
a = Lado da base maior
b = Lado da base menor

- Cálculo do tirante e alongamento:

Alongamento por cm: $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$

Alongamento total: $\Delta_l = \frac{\sigma}{E} \times l$

Levar em consideração a elasticidade da alvenaria aplicando um coeficiente *k = 1,5 a 2*:

$$\Delta_l = \frac{\sigma_f}{E_f} \times l \times k$$

A seção do tirante será obtida pela tensão admissível do ferro usado e pelo esforço.

- O tensionamento do tirante é obtido com cunhas metálicas e parafusos com duas roscas, uma direta e outra inversa, no centro, ou porcas na extremidade;
- O cálculo dos esforços nos arcos corresponde ao cálculo da componente horizontal do empuxo que, no caso de arcos e abóbadas de alvenaria, é obtido pelo processo grafostático de Méry (ver roteiro de verificação de estabilidade). Ver a consolidação proposta para a abóbada do Forte da Jiquitaia.

No caso de abóbadas deformadas e sobrecarregadas, deve-se aliviar o seu enchimento colocando muretas para apoio do piso, vigotas independentes metálicas ou, melhor ainda, criando lajes de concreto armado que vão, através de sua ancoragem nas paredes laterais, contribuir para eliminar o empuxo. Deixar respiradouros no vazio entre a laje e a abóbada.

No caso das torres, o atirantamento exposto deve ser provisório. A maneira definitiva deverá ser com "diafragmas" de concreto armado nos andares, perfeitamente ancorados nas paredes laterais e com atirantamento interno nas paredes com enchimento de cimento ou resina, através de furação com brocas diamantadas.

3 - CONSOLIDAÇÃO DE PISOS DE MADEIRA

Problemas fundamentais:

- Seção inadequada prevista inicialmente;
- Fadiga do material;
- Ação de fungos e térmitas;
- Sobrecargas por novas utilizações.

Princípio básico ➔ Tentar por todos os meios aproveitar o material existente. No caso de impossibilidade, substituir por estruturas mais duráveis e mais fáceis de conservação como o concreto (bem feito!), que trava bem a caixa de muros e tem custo inferior.

3.1 - Reforço com vigas metálicas (ou substituição completa)

- Casos de uso aparente ➔ Reforço do estuque do Palácio Rio Branco (Salvador, Bahia);
- Uso entre piso e forro ➔ Antiga Faculdade de Medicina e salão da Santa Casa de Misericórdia (Salvador, Bahia);

- Sistema misto madeira/ferro ➔ Salão de reuniões da Santa Casa de Misericórdia (Salvador, Bahia);
- O material aparente como critério estético e de leitura do antigo e do moderno;
- Nova estrutura com linguagem moderna: Mercado Modelo e auditório da Antiga Faculdade de Medicina da Bahia.

3.2 - Tratamento imunizante contra os xilófagos e tratamento antioxidante dos perfis metálicos

O tratamento imunizante reveste-se de grande importância entre nós, especialmente no Estado da Bahia (Brasil), onde a umidade e a temperatura são extremamente propícios ao desenvolvimento de microrganismos que atacam as madeiras, mesmo aquelas consideradas **madeiras de lei**.
Não menos importante é, também, o tratamento dos elementos metálicos, que quase sempre são de metais ferrosos e, conseqüentemente, oxidáveis, especialmente em uma atmosfera carregada de aerossóis salinos como a de Salvador e outras cidades litorâneas. Por isto recomenda-se:

a) Que as peças metálicas a serem utilizadas sejam tratadas com um ***primer*** de boa qualidade e, se possível, tendo como base o epóxi (ter especial cuidado com os locais de solda). A ferrugem danifica não só a estrutura metálica, como a madeira em contato com ela;
b) Que a madeira nova seja obrigatoriamente de lei e tratada por imersão.
No caso das peças que não puderem ser removidas sugere-se **embebimento a pincel** (não somente pincelamento) combinado com infiltrações feitas em pequenos furos praticados com broca fina;
c) Isolar contra umidade e deixar um espaço na cabeça das “entregas” das vigas;
d) Colocar pequenos drenos que permitam periodicamente derramar na cabeça das vigas produtos imunizantes. Estes drenos podem ficar disfarçados sob o rodapé do cômodo quando se tratar de estrutura de piso;
e) Tratar também os parafusos de porca. Os de madeira devem ser de metal inoxidável.

Apresentamos a seguir alguns tipos de reforço de madeiras existentes onde são utilizados elementos metálicos de reforço (perfis e parafusos) combinados com concreto (Fig. 12):

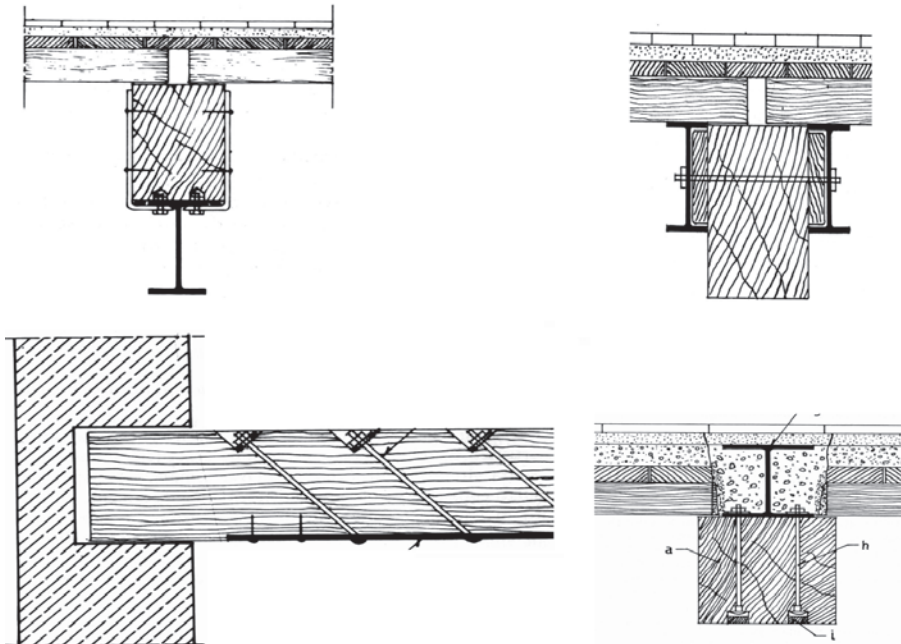



Fig. 12 – Exemplos de reforços de estruturas de madeira

3.3 - *Wood Epoxy Reinforcement (W.E.R.)*

É um sistema que usa a combinação de elementos metálicos com a colagem com resinas epoxídicas. Temos usado com muito sucesso esta técnica e acreditamos que tenha boa durabilidade nos locais onde a radiação U.V. não venha a afetar a durabilidade da resina. Para a operação é utilizada resina medianamente fluida, que pode ser obtida através de muitos fabricantes como a Vedacit, a Ciba-Geigy, a Fosroc, a Sika e outras (Fig. 13).

As dimensões da placa – espessura e engastamento nas duas partes: viga original e emenda (Lc) – são objetos de cálculo.

Verificado o momento fletor no local da emenda, encontra-se o módulo de resistência necessário para absorvê-lo, considerando-se somente a placa metálica.

$$L_c = 3{,}3k\,\frac{\sigma_m . b . h^2}{l . h_f . \tau_m}$$

Onde:

σ_m = Tensão admissível para a madeira
b = Largura da viga
h = Altura da viga
l = Comprimento da viga
h_f = Altura da chapa de reforço
τ_m = Tensão de cisalhamento da madeira em uso
k = Fator de qualificação, onde: k =100/U (para madeira boa, $U_{máx}$ = 100%; para madeira ruim, $U_{mín}$ = 50%)

NOTA : a mínima dimensão da chapa deve ser, $L_{c(min)} = 2.5kh$

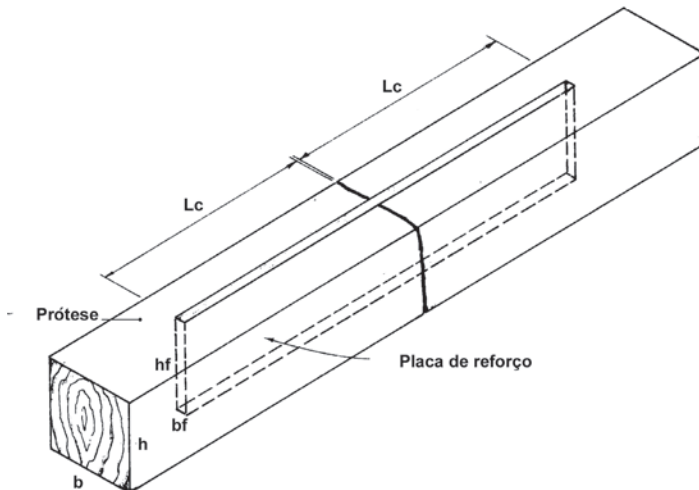



Fig. 13 – Consolidação com colagem polimérica (epóxi, poliéster etc)

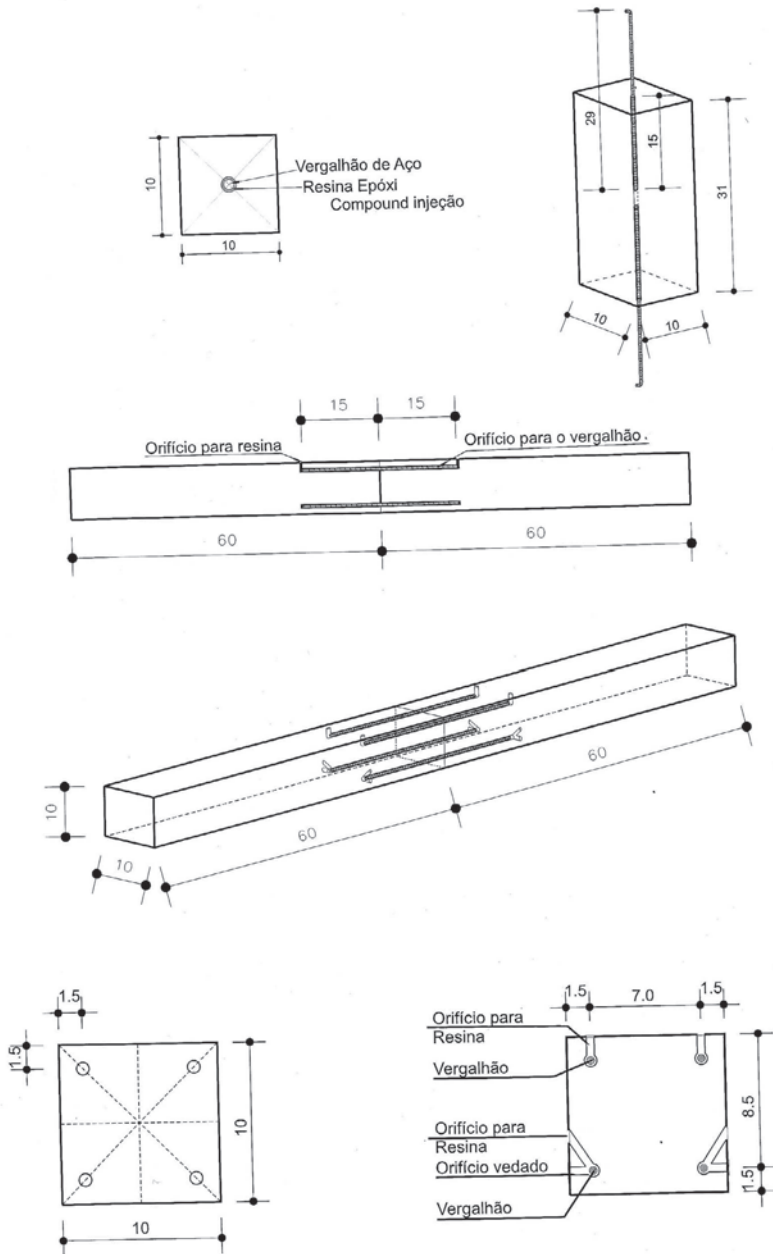



Fig. 14 – Sistema de reforço com barras de ferro redondas desenvolvidos no NTPR

3.4 - Reforço com viga armada com tirante

É um procedimento de baixo custo e muito eficiente quando o problema é somente insuficiência de seção. Em geral é usado nas partes não visíveis, mas eventualmente pode ser tirado partido plástico e de **leitura da intervenção** em pontos visíveis. Variantes podem ser obtidas usando-se quatro ferros redondos para armar (ou barras de resina armadas com fibra de vidro).

Para encontrar os valores da ação sobre os tirantes, no **caso de uma carga uniformemente distribuída**, utilizamos as seguintes fórmulas:

$$N_1 = \frac{H}{\cos\alpha} \quad \text{e} \quad H = \frac{2Q}{\pi} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{l}{h}$$

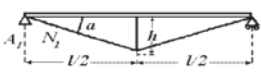
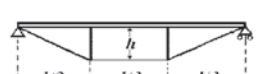
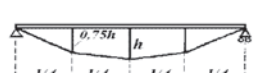
N_1 = Esforço de tração sobre o tirante
H = Esforço de compressão na madeira
Q = Carga total uniformemente distribuída
z_1= Fatores no quadro (vide a seguir)
z_2= Fatores no quadro (vide a seguir)
h = Altura de pontalete
l = Vão
α = Ângulo do tirante

FORMA DA VIGA	z_1	z_2	z_3
A_1, N_1, a, h, l/2, l/2	0,0833	0,333	$4\frac{h}{l}$
h, l/3, l/3, l/3	0,1065	0,556	$3\frac{h}{l}$
0,75h, h, l/4, l/4, l/4, l/4	0,0990	0,479	$2\frac{h}{l}$

Fig. 15 – Quadro para cálculo de vigas Fink

3.5 - Propostas de reforços segundo Checcotti

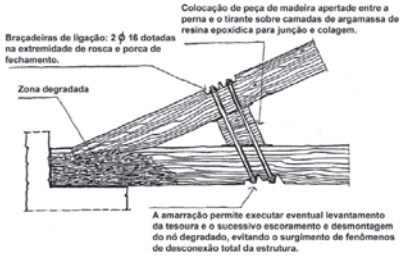
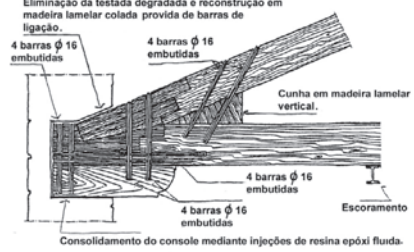
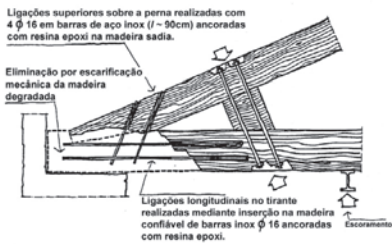
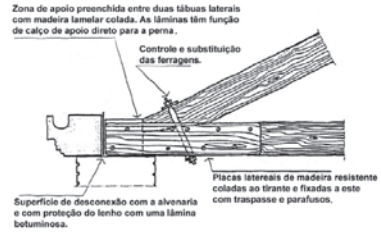
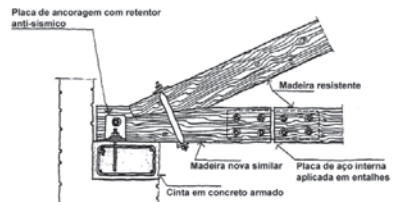
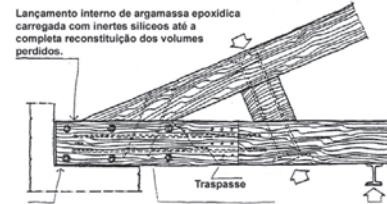



Fig. 16 – Diversos hipóteses de consolidação de tesoura com extremidade degradada

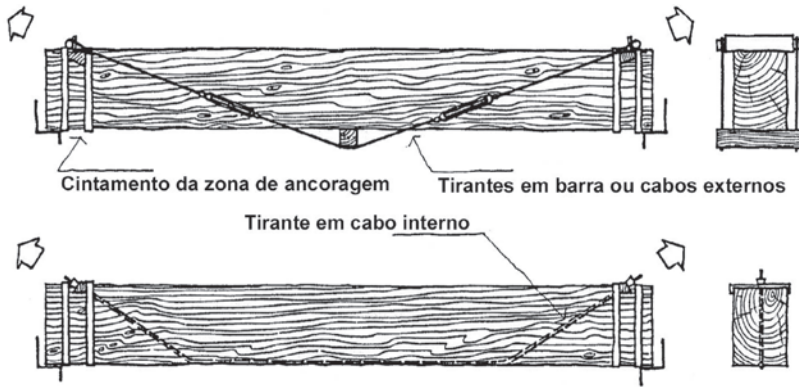



Fig. 17 – Reforço de vigas enfraquecidas para suportarem momentos fletores

XIV. BIBLIOGRAFIA SOBRE ESTRUTURAS

ASSIRCCO. La conservazione dei monumenti. Primo corso de informazione ASSIRCCO. Perugia, 6-8 novembre, 1979. *Anais...* Roma: Kappa, 1981. 189p., il. Diversos autores.

BECCHI, Antonio, FOCE, Federico. *Degli archi e delle volte*. Venezia: Marsilio, 2002. 355p. il.

BECKMANN, Poul. *Structural aspects of building conservation*. London: Mcgraw-hill, 1994. 286p. il.

BAUD, G. *Manual de Construção*. Tradução de Torrieri Guimarães. São Paulo: Hemus, s/d. 441p., il.

CIGNI, Giuseppe. *Il consolidamento murario*. Roma: Kappa, 1978. 335p., il.

CNR. *Manuale dell'architetto*. Italia: s/ed, s/d. 525p., il.

COLLADO, Gabriel López. *Las ruinas en construciones antiguas*. Madrid: Rivadeneyra, 1976. 496p., il.

CROCI, Giorgio. *Intuizioni e calcolo nella progettazione delle strutture: Prevenzione dei dissesti e consolidamento*. Milano: Ulrico Hoepli, 1977. 349p., il.

CROCI, Giorgio. *Conservazione e restauro strutturale dei beni architettonici*. Torino: UTET, 2001. 537p. Il.

CROCI, Giorgio. *Dissesti nelle costruzioni causate dalle deformazione del suolo*. Parte 2. Roma: Università delle Studi di Roma. Dip. Scienze delle Costruzioni. 176p., s.d. Publ. n.253.

DEFEZ, Alberto. *Il Consolidamento degli Edifici*. Napoli: Liguori, 1981. 342p., il.

DEL PIERO, Gianpietro. *Il consolidamento delle costruzioni*. Udine: CISM, 1983. 384p., il.

DI STEFANO, Roberto.*Il consolidamento strutturale nel restauro architettonico*. Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane,1990. 344 p., il.

DI STEFANO, Roberto et al. *Diagnosi dei dissesti e consolidamento degli edifici*. Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane, 1978. 397p., il.

FIENGO, Giuseppe. *Diagnosi dei dissesti e consolidamento degli edifici.* Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane, 1978. 397p., il.

GIUFFRÉ, Antonino. *Letture sulla meccanica delle murature storiche*. Roma: Kappa, 199. 85p., il.

JOHNSON, Sidney M. *Deterioro, conservación y reparación de estructuras*. Madrid/Barcelona: Blume/Labor, 1973. 333p., il.

LIZZI, F. *Restauro statico dei monumenti: criteri d' intervento e casistica,* Genova: Sagep, 1981. 145p., il.

LIZZI, F*. Il consolidamento del terreno e dei fabricati*. Palermo: Dario Flaccovio, 1989. 135p. Il.

MASTRODICASA, Sisto. *Dissesti statici delle strutture edilizie*. Milano: Ulrico Hoepli, 1983. 7ª, 790 p., il.

MOLITERNO, Antonio. *Caderno de Muros de Arrimo*. São Paulo: Edgard Blücher, 1994. 194p. il. 2ª ed.

MOLITERNO, Antônio. *Caderno de projetos de telhados em estrutura de madeira*. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.461p. il. 2ª ed. 5ª reimpressão.

MONTEIRO, J.C. Rego. *Tesouras de telhado*. Rio de Janeiro: Interciência, 1976. 109p. il. 4ª ed.

PFEIL, Walter, PFEIL, Michele. *Estruturas de madeira*. Rio de Janeiro: 2003. 224p. il. 6ª ed.

ROCCHI, Paolo. *Progettare il consolidamento*. Roma: Kappa, 1983. 75p., il.

RUSSO, Cristoforo. *Lesiones de los edificios*. Barcelona: Salvat, 1934. 279p., il.

TASSIOS, T.P., MAMILLAN, M. *Valutazione strutturale dei monumenti antichi*. Roma: Kappa, 1985. 99p., il.

XV. NOTAS (tradução das citações)

(1) Começando pelos adobes, eu direi qual a espécie de argila com a qual eles devem ser feitos. Eles não devem ser feitos de argila arenosa, com pedriscos ou gravilhão, porque quando feitos com materiais desta espécie, em primeiro lugar são pesados e, em segundo lugar, quando lavados pela chuva, quando estão nas paredes, eles se decompõem e se quebram e a palha dentro deles não consegue estabilizá-los por causa da aspereza do material. **MARCUS VITRUVIUS POLIO.**

(2) E as ditas pedras *albazzanas* depois de apagadas, é conveniente utilizá-las em seguida: porque após apagadas repetrificam-se e estragam-se. E estas cales não deveriam possuir os antigos: porque, se eles as tivessem, não teria sentido aquela lei que determinava que as cales só poderiam ser utilizadas depois de três anos de extintas. **PIETRO CATANEO, SENESE**.

(3) (As pedras) quando expostas ao aerossol, gelo ou geada, elas sofrem escamação, nem também mostram muita resistência às brisas do mar. O travertino rompe-se com o calor, porém resiste a outras forças. **CAIUS PLINIUS SECUNDOS (o velho)**.

(4) A chuva de fato está sempre pronta para danificar; não perde a mínima ocasião de fazer o mal: perfura sutilmente, enfraquece, corrói continuamente toda a ossatura do edifício; até que destrói a construção inteira e a transforma em ruína. **LEON BATTISTA ALBERTI**.

(5) E para que entendas de muitas coisas, existem três tipos: assim como os homens estão divididos em três tipos, cavaleiros, populares, e camponeses, assim as pedras são de três tipos, isto é, pedras finas, pedras não muito finas, e pedras que não são finas. **ANTONIO AVERLINO, o FILARETE**.

(6) Em contato com esterco de pássaro, o chumbo se deteriora. Logo, ocorre evitar de oferecer às aves locais onde possam se apoiar comodamente. **LEON BATTISTA ALBERTI**.

(7) É necessário que os proprietários que desejarem construir, informem-se bem dos especialistas sobre a natureza da madeira, e qual a madeira que é boa para certa finalidade ou não. Vitrúvio em relação ao assunto nos dá boa orientação, como também outros homens doutos, que escreveram abundantemente sobre o assunto. **ANDREA PALLADIO DA VICENZA**.

(8) É necessário desenvolver as aplicações destes materiais novos e mostrar como, conservando os bons princípios, deve-se ser treinado para modificar as formas da estrutura. **EUGÈNE E. VIOLLET-LE-DUC.**

(9) Faz primeiramente o tratado das causas geradoras da ruptura dos muros e em seguida o tratado dos remédios em separado. **LEONARDO DA VINCI**.

(10) Para evitar, por outro lado, que o terreno nos desabe sobre a cabeça devemos dispor um escoramento e em seguida construir uma cobertura abobadada. **LEON BATTISTA ALBERTI**.

(11) A utilidade das coberturas é maior do que a de todas as outras partes... Sem o teto, o madeira se deteriora, os muros vacilam, os seus flancos se abrem, pouco a pouco a construção inteira vai à ruína. **LEON BATTISTA ALBERTI**.

(12) Arco não é outra coisa senão uma solidez originada por duas fraquezas, porque o arco nos edifícios é composto de 2 partes de círculo, os quais quartos de círculo, fraquíssimos por si, tendem sempre a cair e opondo-se à ruína um do outro, as duas fraquezas convertem-se em uma única solidez. **LEONARDO DA VINCI**.

(13) Os carpinteiros fazem dois tipos de tesouras, de acordo com a doutrina de Vitrúvio... **CLAUDE PERRAULT**.

(14) Porém o maior cuidado deve ser tomado em relação às subestruturas (muros de contenção) porque imenso dano é causado pelo empuxo da terra contra elas. Porque as terras não podem permanecer com o mesmo peso que elas têm usualmente durante o verão; elas se expandem no inverno absorvendo água das chuvas. Consequentemente, pelo seu peso aumentado e expan-

são, empuxa e rompe o muro de sustentação. **MARCUS VITRUVIUS POLIO**.

(15) No caso, pois, que seja necessário reparar a fundação, ocorre escavar rasante ao muro, levando-se em conta as suas proporções e a solidez do terreno, um poço estreito até a profundidade correspondente a um terreno sólido e resistente... Dizem os antigos: escave até quando encontre o terreno sólido, e que o céu te ajude **LEON BATTISTA ALBERTI**.